

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**

**REGIONALIZAÇÃO DO HIDROGRAMA UNITÁRIO SINTÉTICO  
E DOS COEFICIENTES DO HIDROGRAMA UNITÁRIO  
SINTÉTICO DE SNYDER PARA PEQUENAS BACIAS RURAIS  
DO ESTADO DE SÃO PAULO**

**EBER DAVI PIO**

**Campinas**

**1999**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**

**REGIONALIZAÇÃO DO HIDROGRAMA UNITÁRIO  
SINTÉTICO E DOS COEFICIENTES DO HIDROGRAMA  
UNITÁRIO SINTÉTICO DE SNYDER PARA PEQUENAS  
BACIAS RURAIS DO ESTADO DE SÃO PAULO**

Eber Davi Pio

Abel Maia Genovez

Dissertação de Mestrado apresentada à  
Comissão de Pós-Graduação da  
Faculdade de Engenharia Civil, da  
Universidade Estadual de Campinas  
UNICAMP - como parte dos requisitos  
para obtenção do título de Mestre em  
Engenharia Civil – Área de concen-  
tração de Recursos Hídricos.

Campinas

1999

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

P658r      Pio, Eber Davi  
Regionalização do hidrograma unitário sintético  
e dos coeficientes do hidrograma unitário sintético  
de Snyder para pequenas bacias rurais do Estado  
de São Paulo / Eber Davi Pio. --Campinas, SP:  
[s.n.], 1999.

Orientador: Abel Maia Genovez.  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual  
de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil.

1. Hidrologia – Modelos – São Paulo (Estado).  
2. Bacias hidrográficas – Modelos – São Paulo  
(Estado). 3. Chuvas – São Paulo (Estado). 4.  
Águas pluviais – São Paulo (Estado). I. Genovez,  
Abel Maia. II. Universidade Estadual de Campinas.  
Faculdade de Engenharia Civil. III. Título.


**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**

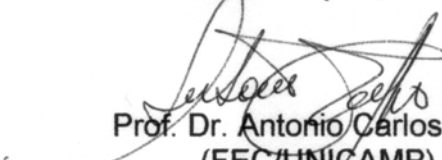
**FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**


**REGIONALIZAÇÃO DO HIDROGRAMA UNITÁRIO SINTÉTICO  
E DOS COEFICIENTES DO HIDROGRAMA UNITÁRIO  
SINTÉTICO DE SNYDER PARA PEQUENAS BACIAS RURAIS  
DO ESTADO DE SÃO PAULO**

**Eber Davi Pio**

Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:

  
Prof. Dr. Abel Maia Genovez  
Presidente e Orientador (FEC/UNICAMP)

  
Prof. Dr. Antonio Carlos Zuffo  
(FEC/UNICAMP)

  
Prof. Dr. Décio Cruciani  
(ESALQ/USP)

Campinas, 26 de fevereiro de 1999

Dedico este trabalho  
aos meus pais Roque Pio e Antonia dos Reis Pio  
e ao meu filho Rafael Ugo Pio.

## **AGRADECIMENTOS**

Com o termino deste trabalho faz-se necessário reconhecer aos que contribuíram para levá-lo a termo:

O Prof. Dr. Abel Maia Genovez pela orientação, incentivo, paciência e discussão de idéias.

Ao técnico Luis Fernando Chang de Oliveira pela ajuda nos cálculos e elaborações de hidrogramas, hietogramas, hidrogramas unitários, etc.

A Eng<sup>a</sup> Cecília Ruggiero do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE-SP), pelo pronto atendimento em todas as solicitações dos dados hidrológicos utilizados neste trabalho.

Ao Prof. Dr. Antonio Carlos Zuffo, pela discussão sobre vários itens deste trabalho.

Finalmente a todos que, de certa forma, contribuíram direta ou indiretamente para a execução deste trabalho.

## SUMÁRIO

Lista de Tabelas.....	xiii
Lista de Figuras.....	xvii
Lista de Abreviaturas e Símbolos.....	xxiii
Resumo.....	xxvii
Abstract.....	xxix
 1. Introdução.....	 1
1.1 Objetivos.....	3
 2. Revisao bibliográfica.....	 5
2.1- Generalidades.....	5
2.2- Hidrograma.....	5
2.3- Hidrograma Unitário.....	10
2.4- Método do Hidrograma Sintético Regionalizado.....	15
2.5- Método do Hidrograma Unitário Sintético de Snyder.....	20
2.6- Regressão Linear.....	28
 3. Metodologia.....	 33
3.1- Introdução.....	33
3.2- Análise das bacias a serem estudadas.....	33
3.3- Determinação de tempo de concentração.....	37
3.4- Determinação dos Hidrogramas.....	38
3.5- Obtenção do Hidrograma Unitário para cada evento.....	40
3.6- Regionalização do Hidrograma Unitário Sintético.....	42
3.7- Regionalização dos coeficientes do Hidrograma Unitário Sintético de Snyder.....	43
 4. Resultados e Discussão.....	 45
4.1- Introdução.....	45
4.2-Hidrogramas Unitários Coalinhados para as bacias estudadas.....	45
4.3-Hidrogramas Unitários Médios das bacias estudadas e parâmetros que caracterizam o Hidrograma Unitário qp, tp, tb, t50, t75.....	61

4.4- Resultados das Regressões Lineares para obtenção das equações do Hidrograma Unitário Sintético Regionalizado.....	62
4.5- Resultados das Regressões Lineares para obtenção das equações dos coeficientes do Hidrograma Unitário de Snyder.....	79
5. Conclusão.....	101
6. Referências Bibliográficas.....	105
APENDICE A – Dados Adicionais das Bacias Hidrográficas Estudadas.....	111
APENDICE B – Mapas das 15 Bacias do Estado de São Paulo e o posicionamento dos postos pluviométricos, pluviográficos e fluviográficos.....	131
APENDICE C – Perfis Longitudinais dos Talwegues principais dos rios das 15 bacias do Estado de São Paulo em observação.....	147



## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Valores obtidos para os parâmetros $C_t$ e $C_p$ do Método de Snyder (1938) por vários pesquisadores.....	21
Tabela 3.1 – Dados das Bacias Hidrográficas estudadas.....	35
Tabela 3.2 – Dados usados para o calculo dos coeficientes $C_t$ e $C_p$ , os coeficientes $C_t$ e $C_p$ e seus respectivos logaritimos usados na regressão.....	44
Tabela 4.1 – Valores dos parâmetros que caracterizam os hidrogramas unitários médios.....	61
Tabela 4.2 – Parâmetros da Regressão.....	63
Tabela 4.3 – Matriz de Correlação de Pearson.....	65
Tabela 4.4 – Regressão Linear de $tp$ .....	66
Tabela 4.5 – Regressão Linear de $qp$ .....	70
Tabela 4.6 – Regressão Linear de $tb$ .....	71
Tabela 4.7 – Regressão Linear de $t50$ .....	73
Tabela 4.8 – Regressão Linear de $t75$ .....	75

Tabela 4.9 – Comparação entre os parâmetros dos Hidrogramas Unitários Calculados, Observados e Snyder.....	77
Tabela 4.10 – Diferenças em porcentagem dos parâmetros dos Hidrogramas Observados/Calculados e Observados/Snyder.....	78
Tabela 4.11 – Regressão Linear de Ct.....	80
Tabela 4.12 – Regressão Linear de Cp.....	82
Tabela 4.13 – Comparações entre Ct e Cp calculados a partir das equações originais de Snyder e das equações de Snyder modificadas (equações 4.6 e 4.7).....	99

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Métodos de separação dos escoamentos superficial e subterrâneo.....	7
Figura 2.2 – Constância do tempo de base.....	12
Figura 2.3 – Proporcionalidade das descargas.....	13
Figura 2.4 – Interdependência dos deflúvios simultâneos.....	14
Figura 2.5 – Parâmetros do Hidrograma Unitário.....	18
Figura 2.6 – Linha de regressão.....	29
Figura 3.1 – Localização das bacias hidrográficas estudadas no mapa do Estado de São Paulo.....	36
Figura 4.1 – Hidrograma Unitário Coalinhado da bacia 4B13R.....	46
Figura 4.2 – Hidrograma Unitário Coalinhado da bacia 4B14R.....	47
Figura 4.3 – Hidrograma Unitário Coalinhado da bacia 4B17R.....	48
Figura 4.4 - Hidrograma Unitário Coalinhado da bacia 3C12R.....	49
Figura 4.5 - Hidrograma Unitário Coalinhado da bacia 5C31R.....	50
Figura 4.6 - Hidrograma Unitário Coalinhado da bacia 8C8R.....	51
Figura 4.7 - Hidrograma Unitário Coalinhado da bacia 8C9R.....	52
Figura 4.8 - Hidrograma Unitário Coalinhado da bacia 2D54R.....	53
Figura 4.9 - Hidrograma Unitário Coalinhado da bacia 2D59R.....	54
Figura 4.10 - Hidrograma Unitário Coalinhado da bacia 2D61R.....	55
Figura 4.11 - Hidrograma Unitário Coalinhado da bacia 3E110R.....	56
Figura 4.12 - Hidrograma Unitário Coalinhado da bacia 3E111R.....	57
Figura 4.13 - Hidrograma Unitário Coalinhado da bacia 3E113R.....	58

Figura 4.14 - Hidrograma Unitário Coalinhado da bacia 4E25R.....	59
Figura 4.15 - Hidrograma Unitário Coalinhado da bacia 4F38R.....	60
Figura 4.16 - Hidrograma Unitário Médio das bacias 4B14R, 5C31R, 2D54R e 2D59R.....	64
Figura 4.17 - Hidrograma Unitário Médio das bacias 4B17R, 8C8R e 4E25R.....	64
Figura 4.18 - Hidrograma Unitário Médio das bacias 3C12R, 8C9R, 3E111R e 4F38R.....	64
Figura 4.19 - Hidrograma Unitário Médio das bacias 4B13R, 2D61R, 3E110R e 3E113R.....	64
Figura 4.20 – Hidrograma Unitário Médio Observado / Hidrograma Calculado na Bacia 4B13R.....	84
Figura 4.21 – Hidrograma Unitário Médio Observado / Hidrograma Calculado na Bacia 4B14R.....	85
Figura 4.22 – Hidrograma Unitário Médio Observado / Hidrograma Calculado na Bacia 4B17R.....	86
Figura 4.23 – Hidrograma Unitário Médio Observado / Hidrograma Calculado na Bacia 3C12R.....	87
Figura 4.24 – Hidrograma Unitário Médio Observado / Hidrograma Calculado na Bacia 5C31R.....	88
Figura 4.25 – Hidrograma Unitário Médio Observado / Hidrograma Calculado na Bacia 8C8R.....	89
Figura 4.26 – Hidrograma Unitário Médio Observado / Hidrograma Calculado na Bacia 8C9R.....	90
Figura 4.27 – Hidrograma Unitário Médio Observado / Hidrograma Calculado na Bacia 2D54R.....	91
Figura 4.28 – Hidrograma Unitário Médio Observado / Hidrograma Calculado na Bacia 2D59R.....	92

Figura 4.29 – Hidrograma Unitário Médio Observado / Hidrograma Calculado na Bacia 2D61R.....	93
Figura 4.30 – Hidrograma Unitário Médio Observado / Hidrograma Calculado na Bacia 3E110R.....	94
Figura 4.31 – Hidrograma Unitário Médio Observado / Hidrograma Calculado na Bacia 3E111R.....	95
Figura 4.32 – Hidrograma Unitário Médio Observado / Hidrograma Calculado na Bacia 3E113R.....	96
Figura 4.33 – Hidrograma Unitário Médio Observado / Hidrograma Calculado na Bacia 4E25R.....	97
Figura 4.34 – Hidrograma Unitário Médio Observado / Hidrograma Calculado na Bacia 4F38R.....	98

## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

- A - Área da bacia
- $C_p$  - Coeficiente da fórmula para o cálculo de  $q_p$  do método de Snyder
- $C_t$  - Coeficiente da fórmula para o cálculo de  $t_{pl}$  do método de Snyder
- D - Duração da precipitação do hidrograma unitário
- DAEE - Departamento de águas e Energia Elétrica
- $D_r$  - Duração real da precipitação causadora do HU
- HU - Hidrograma Unitário
- HUS - Hidrograma Unitário Sintético
- HUSR - Hidrograma Unitário Sintético Reginalizado
- $H^*$  - Diferença de cotas entre os pontos mais afastados da bacia e a seção da bacia considerada
- $I_c$  - Índice de compacidade da bacia
- $I_f$  - Fator de forma da bacia
- K - Coeficiente de distribuição espacial da chuva
- $K_r$  - Constante de recessão
- L - Comprimento do talvegue principal
- $L_g$  - Comprimento do talvegue medido desde o ponto de saída até a projeção normal do baricentro da mesma sobre este talvegue
- Log - Logaritmo na base 10
- n - Número de elementos
- N - Tempo de pico até o final da recessão
- $n_t$  - Número de trechos de igual comprimento em que foi dividido o talvegue principal

$P$  - Perímetro bacia  
 $P_e$  - Altura de precipitação efetiva ou excesso de precipitação  
 $Q, q$  - Vazão  
 $Q_{hi}$  - Vazão do Hidrograma Unitário no instante  $i$   
 $Q_i$  - Vazão do Hidrograma em estudo no instante  $i$   
 $q_p$  - Vazão de pico (ou máxima) do hidrograma unitário  
 $Q_t$  - Vazão no tempo  $t$   
 $r$  - Índice da correlação linear de Pearson  
 $R^2$  - Coeficiente de determinação  
 $S_H$  - Comprimento do talvegue principal  
 $S_i$  - Declividade média do talvegue principal  
 $S'$  -  $H^*/L$  é aproximadamente a declividade média da bacia de drenagem.  
 $S^2$  - Variância  
 $t$  - Duração da chuva  
 $t_b$  - Tempo de base do hidrograma unitário  
 $t_c$  - Tempo de concentração  
 $t_p$  - Tempo de pico (do início do escoamento superficial até o pico do hidrograma, ramo ascendente)  
 $t_{pl}$  - Tempo de retardamento da chuva ,ou seja, intervalo entre o baricentro da chuva e o instante de pico  
 $t'_{pl}$  - O mesmo  $t_{pl}$  ajustado para uma duração diferente.  
 $t_{50}$  - Largura do hidrograma unitário na ordenada equivalente a 50% de  $q_p$   
 $t_{75}$  - Largura do hidrograma unitário na ordenada equivalente a 75% de  $q_p$   
 $t_{25}$  - Largura do hidrograma unitário na ordenada equivalente a 25% de  $q_p$   
 $V_{tes}$  - Volume total escoado superficialmente

## RESUMO

Devido a grande dificuldade de se obter dados para pequenas bacias hidrográficas e a importância prática do Método do Hidrograma Unitário Sintético é que surgiu a necessidade de ampliar os estudos já existentes do hidrograma unitário regionalizado, para o Estado de São Paulo. Para tanto, utilizou-se um maior número de bacias hidrográficas e de hidrogramas analisados.

Utilizando-se de dados de chuva e vazão do DAEE - SP (Departamento de Água e Energia Elétrica) foram obtidas equações regionalizadas para o Hidrograma Unitário Sintético e também para os coeficientes do Hidrograma Unitário Sintético SNYDER, em função das características fluviomorfológicas das bacias em estudo, podendo-se assim, utilizá-los em locais onde não se dispõe de dados hidrográficos. Foram estudadas 15 pequenas bacias hidrográficas, com áreas variando de 38 a 398 km<sup>2</sup>. Foram obtidas equações para o hidrograma unitário regionalizado com altos coeficientes de determinação. O mesmo ocorreu com o coeficiente  $C_t$  e  $C_p$  do hidrograma unitário de Snyder.

**Palavras-chave:** Hidrograma Unitário; Snyder; Equações regionalizadas.



## ABSTRACT

Because of the great difficulty for attainment of data for small Watersheds and the practical importance of the Method of Synthetic Hydrograms Unitary, the need appeared of already enlarging the authors existent of the hydrograms regionalizate unitary for the State of São Paulo. For this to been use the large number of hidrografic watersheds and hydrograms analysed.

Using data of raining and runoff of DAEE - SP (Departament of Water and Electric Energy) the results of this Synthetic Hydrograms Unitary work for the State of São Paulo and also the coefficients of Synthetic Hidrograms Unitary of SNYDER (1938) in function of the river morfologic characteristic to be able use them in no hydrological data. To been study 15 small hydrographs basins, to have area variable of 38 at 398 Km<sup>2</sup>. To been get equation for unitary hydrogram regional with elevateds coefficients of determination. The same happened with the coefficient  $C_t$  and  $C_p$  of Snyder's unitary hidrogram.

**Keywords:** Hydrograms Unitary; Snyder; Hydrograms regionalizate.

## 1- INTRODUÇÃO

É grande a importância deste estudo devido à necessidade de dados de vazões de enchentes para a execução de qualquer projeto de obras hidráulicas. Dados estes de difícil obtenção devido à pequena rede de postos hidrológicos e séries de vazões observadas de curta extensão. Esta precariedade de dados é ainda maior em pequenas bacias hidrográficas.

Neste caso, uma das melhores opções ao projetista, é a utilização do hidrograma unitário sintético regionalizado. É o que tem mostrado vários estudos, como GENOVEZ (1991) e KÖPP & PAIVA(1993).

Com a obtenção do hidrograma unitário regionalizado para pequenas bacias e a regionalização dos coeficientes do hidrograma unitário sintético de SNYDER (1938), para o Estado de São Paulo, pode-se obter o hidrograma de enchentes de pequenas bacias hidrográficas, com poucos dados ou sem eles.

Os métodos foram aplicados a 15 (quinze) bacias hidrográficas do Estado de São Paulo, número de bacias este por ser o número de bacias disponível na rede fluviométrica do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE - SP). Suas áreas variam de 38 a 398 km<sup>2</sup>, sendo que todas possuem um linígrafo e pelo menos um pluviômetro no local ou próximo a alguns pluviômetros.

Foram estudados aproximadamente 12 (doze) eventos para cada bacia em estudo, perfazendo um total de 180 hidrogramas, dados estes que tornam o espaço amostral maior do que o utilizado por REDA (1985) ficando assim mais representativo o

hidrograma unitário regionalizado. Levando-se em consideração ainda, que neste trabalho o tempo de observação empregado foi maior.

Reda (1985) recomendou em seu trabalho a necessidade de ser refeita a sua pesquisa com maiores dados tanto de tempo de observação quanto de números de bacias, devido às curtas séries históricas disponíveis na época conseguindo assim melhoraria nos resultados.

O método de Snyder até a alguns anos atrás era muito utilizado, deixando de ser devido ao aparecimento de novos métodos e principalmente por se desconhecer como se poderiam obter os valores dos coeficientes  $C_t$  e  $C_p$ .

Na segunda parte do trabalho, utilizando os mesmos eventos observados serão regionalizados os coeficientes do hidrograma unitário sintético de SNYDER (1938), como já foi feito por vários pesquisadores em algumas localidades. Nos vários valores encontrados por estes pesquisadores para os coeficientes  $C_t$  e  $C_p$ , observa-se uma dispersão elevada. Considerando-se o intervalo de variações dos coeficientes de Snyder, a carência de estudos para o Estado de São Paulo e ainda que o Hidrograma Unitário Sintético de Snyder seja muito conhecido e citados em quase todos os livros de hidrologia básica, é que se decidiu regionalizá-los para o Estado de São Paulo, em função de características fluviomorfológicas das bacias hidrográficas, tendo, assim, uma maior precisão na sua utilização em projetos de hidrologia.

Os hidrogramas unitários sintéticos obtidos a partir das equações regionalizadas e também utilizando o método de Snyder, com as equações dos coeficientes regionalizados, serão comparados com os hidrogramas unitários observados.

## 1.1 - Objetivos

O objetivo deste trabalho é a obtenção do hidrograma unitário regionalizado para pequenas bacias do Estado de São Paulo e a regionalização dos coeficientes do hidrograma unitário sintético de Snyder(1938), obtendo-se assim o hidrograma de enchentes de pequenas bacias hidrográficas, em locais aonde não se dispõem de dados de vazões.

Faz parte também do objetivo deste trabalho a obtenção das equações regionalizadas para os coeficientes  $C_t$  e  $C_p$  do método do Hidrograma Unitário Sintético de Snyder.



## **2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 - Generalidades**

Neste capítulo é feita a revisão bibliográfica sobre o Hidrograma Unitário (HU), Hidrograma Unitário Sintético (HUS), sobre o Hidrograma Unitário Sintético Regionalizado (HUSR) e Hidrograma Unitário Sintético de SNYDER (1938).

### **2.2 - Hidrograma**

#### **2.2.1.- Definição de Hidrograma**

Segundo WILKEN (1978) “O hidrograma de um curso d’água é a representação no papel de suas variações de vazão dispostas em ordem cronológica”.

A vazão é representada como ordenada de um diagrama cartesiano em  $\text{m}^3/\text{s}$ ,  $\text{l/s}$ ,  $\text{l/s. ha}$  ou  $\text{m}^3/\text{h.m}^2$  e o tempo como abcissa em minutos, frações de horas ou horas no caso de pequenas bacias.

### **2.2.2- Características do Hidrograma**

Divide-se didaticamente em quatro formas principais para que a água de uma dada precipitação chegue ao curso d'água: escoamento superficial ou deflúvio direto; escoamento sub-superficial ou hipodérmico; escoamento subterrâneo ou escoamento de base ou básico e a água que cai sobre o próprio curso d'água.

O escoamento superficial é a água que escoar superficialmente pelo solo até o curso d'água. Isto ocorre de forma mais rápida que os outros escoamentos devido à facilidade encontrada pela água para atingir o curso d'água.

Escoamento sub-superficial é aquele que infiltra na terra, mas não chega aos lençóis subterrâneos, percorrendo numa camada um pouco abaixo da superfície até chegar ao curso de água. Este escoamento acontece com menor velocidade e sua intensidade dependerá da geologia da bacia de drenagem. Levando-se em consideração que este escoamento é de difícil separação, ele pode ser estudado como integrante do escoamento superficial.

Outra parte da água precipitada pode se infiltrar até atingir o lençol de água subterrânea. Este acréscimo de água subterrânea pode, eventualmente, despejar no curso de água como escoamento subterrâneo, se o lençol subterrâneo interceptar o leito do curso de água ou a bacia de drenagem.

Geralmente o escoamento básico é pequeno em relação ao escoamento superficial e tem comportamentos totalmente distintos. Enquanto o escoamento superficial ocorre em grande quantidade e rapidamente atinge o curso d'água, o escoamento subterrâneo demora a contribuir para o curso d'água, pois a água da chuva tem que infiltrar, percolar até o lençol subterrâneo e daí atingir o curso d'água. Diante disto, SHERMAN (1932) propôs o estudo em separado dos dois escoamentos.

### 2.2.3- Separação dos Escoamentos

Existem vários métodos de fazer a separação entre o escoamento superficial e de base. Para melhor entendê-los podemos observar a figura 2.1:

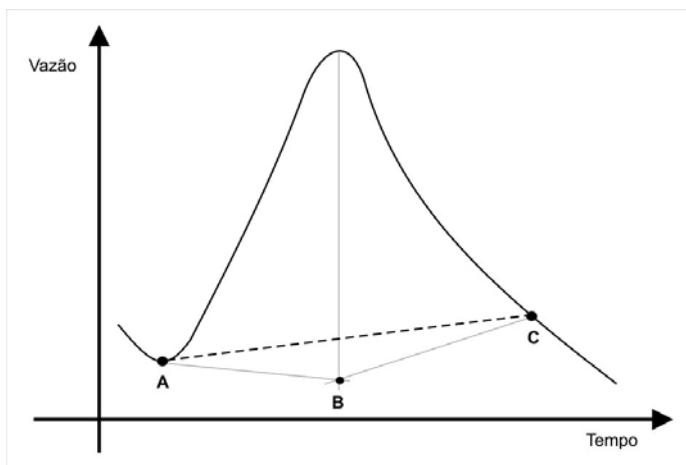


Figura 2.1 - Métodos de separação dos escoamentos superficial e subterrâneo

A aproximação gráfica mais simples para a separação do escoamento dos dois escoamentos, é traçar uma linha horizontal através do hidrograma do seu início até um ponto arbitrário, localizado diretamente no seu ramo descendente ou no começo da curva de recessão, ou seja unir os pontos “A” e “C” através de uma reta definindo, assim, a parte superior da reta como o escoamento superficial e a parte inferior da reta como escoamento de base. O ponto “A” pode ser facilmente determinado através da observação da curva normal de depleção, a sua posição fica definida por uma simples comparação entre essa curva e o trecho inicial do hidrograma em estudo. Normalmente o ponto “A” é facilmente determinado pois corresponde a uma mudança brusca na inclinação da curva de vazão. Já o ponto “C” pode ser determinado com uma simples comparação entre a curva normal de depleção e o trecho final do hidrograma. Na ausência deste estudo, plota-se a recessão ou ramo descendente do hidrograma num papel monologarítmico, que obtém uma reta para o escoamento básico, transferindo-se



o ponto do início desta reta do papel monolog para o hidrograma, obtém-se o ponto “C” ( Figura 2.1).

A segunda maneira, nada mais é que uma variação desta técnica proposta por LINSLEY, et. all. (1949) na qual a curva de recessão precedente ao pico do hidrograma é prolongado até um ponto sob uma reta vertical que passa pelo pico encontrando-se aí o ponto “B”, daí é traçada uma linha até o ponto “C” (fig.2.1) .O ponto “B”, pode ser definido como estando alinhado ao pico do hidrograma (critério mais aceito), já conforme CHOW (1962) este ponto está acerca de 1/10 da base do hidrograma depois do tempo correspondente ao pico do hidrograma.

BARNES (1940), citado em SANSIGOLO (1982) descreve um método de estimativa do escoamento subterrâneo pela equação:

$$Q_t = Q_0 \cdot K_r^t \quad (2.1)$$

em que:

$Q_t$  é o fluxo no tempo t e após a ocorrência de  $Q_0$  .

$K_r$  é a constante de recessão.

CHERNAYA (1964), citado em SANSIGOLO (1982) fez um estudo comparativo dos vários métodos gráficos de separação de hidrogramas e concluiu que a avaliação quantitativa dessas técnicas é muito difícil pois estes métodos de separação são arbitrários.

VISOCKI (1970), citado em SANSIGOLO(1982) estabeleceu forma de se separar hidrogramas relacionando-se o nível piezométrico médio da bacia ao escoamento de base . Curvas de calibração podem ser construídas para se estimar o escoamento de base, plotando-se a vazão em dias em que o escoamento total é composto inteiramente de água subterrânea em função do nível piezométrico médio da bacia. Uma

vez estabelecida as curvas de calibração, elas podem ser extrapoladas aos dados de nível piezométrico para se estimar a vazão subterrânea em períodos chuvosos.

SANSIGOLO (1982), cita VISOCKI (1970), NAKAMURA (1971) e HERMANN, STICHLER (1980), utilizam da condutividade elétrica específica da água para separação dos escoamentos. Envolve uma comparação, através de equações simultâneas, de condutividade elétrica da água subterrânea (medida quando o fluxo é composto inteiramente de água subterrânea), do escoamento direto (medida no pico de vazão) e do escoamento total (num tempo qualquer). Registros contínuos de condutividade elétrica da água e vazão proverão os dados necessários para a geração de hidrogramas de escoamento de base.

MATSUBAYASHI et al. (1993) fizeram uma revisão dos método de separação de escoamentos através de condutividade elétrica da água usando água a uma temperatura de 25°C conseguindo excelentes resultados para bacia de pequeno tamanho ( 6,4 km<sup>2</sup> em Inuyama City Japão)

SU (1995) Usou o modelo de NASH (1957) para desenvolver um modelo matemático para separação do escoamento de base. O modelo de Nash consiste em uma series de reservatórios idênticos e lineares, sendo que cada um tem uma constante de armazenamento K1. A saída do primeiro reservatório é a entrada do segundo e assim por diante como um efeito cascata através de modelo matemático chega-se a uma expressão para o hidrograma unitário instantâneo. Como se pode notar a separação do escoamento superficial do subterrâneo é um tema ainda muito pesquisado e que ainda não se tem um método definitivo para representá-la.

## **2.3 - Hidrograma Unitário**

### **2.3.1 - Definição**

Após executada a separação dos dois tipos de escoamentos, o que resultou no hidrograma de escoamento superficial, nos cabe agora relacioná-lo com a chuva que o produziu.

É clara a relação que existe entre a quantidade e a intensidade de chuva com o hidrograma por ela produzido. Esta relação se baseia no conceito básico do hidrograma unitário: Se duas chuvas iguais ocorrem sobre uma bacia de drenagem, sendo que as condições físicas da bacia são idênticas momentos antes da ocorrência de cada chuva, os hidrogramas de deflúvio direto das duas chuvas poderiam ser supostos iguais.

SHERMAN (1932) apresentou o seu método do hidrograma unitário em continuidade a trabalhos anteriores publicados e definiu o hidrograma unitário assim: “Hidrograma Unitário é um hidrograma com um volume unitário de deflúvio direto resultante de chuva de duração unitária uniformemente distribuída sobre uma dada bacia contribuinte e de intensidade constante”.

BERNARD (1949) propôs um aperfeiçoamento do hidrograma unitário, útil para várias finalidades. Trata-se do diagrama de distribuição de Bernard que consiste em um gráfico que dá porcentagem do volume total escoado em relação ao tempo, se a intensidade do excesso de chuva for constante idêntico em cada ponto da bacia de drenagem.

Pode-se traçar o diagrama de distribuição acumulado que fornece, a partir do início da cheia, a porcentagem acumulada do volume total da referida cheia que já escoou ( ou que falta escoar).

### **2.3.2- Princípios Básicos do Hidrograma Unitário**

Os princípios básicos do Hidrograma Unitário, apresentados por Sherman (1.932), referem-se somente a parte do escoamento superficial do hidrograma. São eles:

#### **2.3.2.1- Primeiro princípio: Constância do Tempo de Base**

Para uma dada bacia, o tempo de duração do escoamento superficial é constante para chuvas de igual duração, conforme ilustra a figura 2.2:

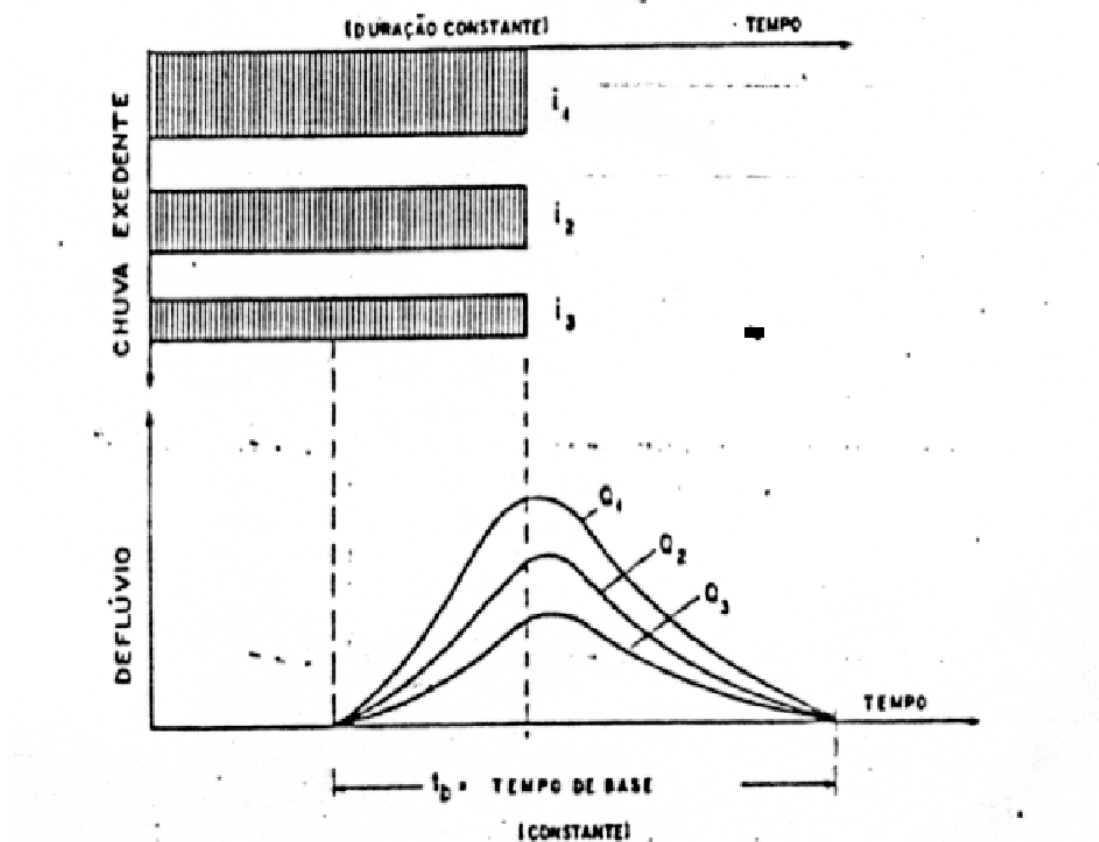


Figura 2.2 - Constância do tempo de base

Fonte : Wilken (1978)

### 2.3.2.2 - Segundo princípio: Proporcionalidade das Descargas ou Princípio de Afinidade

Para uma determinada bacia contribuinte, se duas chuvas de igual duração e de intensidade constante, ambas uniformemente distribuídas, produzem volumes diferentes de escoamentos superficiais, porém com ordenadas dos respectivos hidrogramas em tempos correspondentes são proporcionais aos volumes totais escoados, conforme mostrado na figura 2.3.

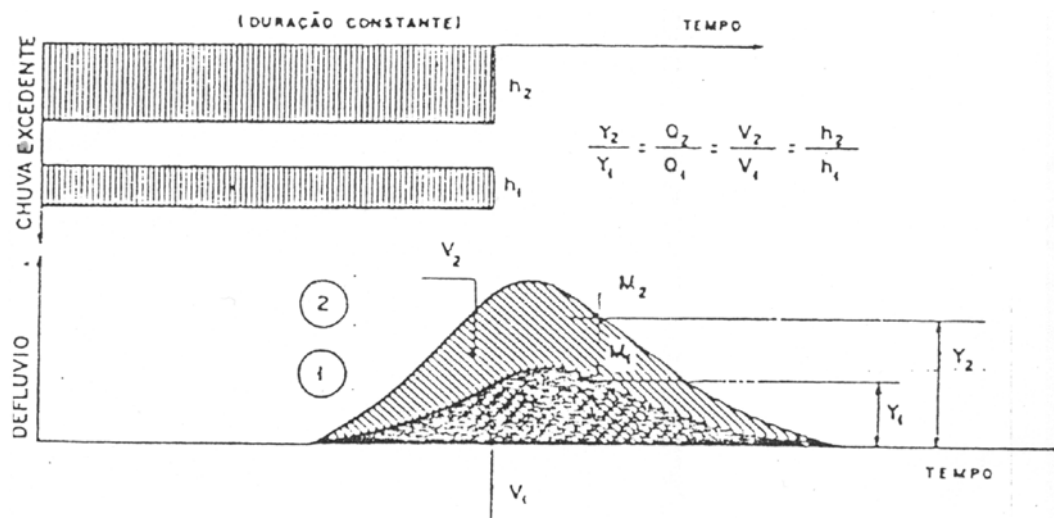


Figura 2.3 - Proporcionalidade das descargas

Fonte : Wilken (1978)

### 2.3.2.3.-Terceiro princípio: Interdependência dos Deflúvios Simultâneos ou Princípio de Aditividade

O tempo do escoamento de deflúvio direto de uma determinada chuva, independe do deflúvio direto provocado por uma chuva anterior, conforme ilustra a figura 2.4.

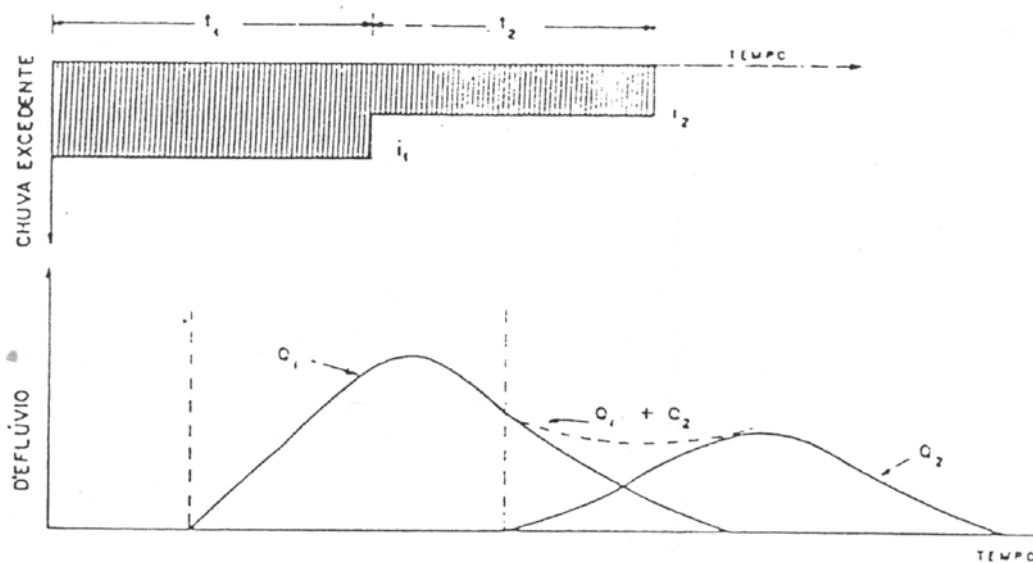


Figura 2.4 - Interdependência dos deflúvios simultâneos

Fonte : Wilken (1978)

Existem vários métodos desenvolvidos para obtenção do Hidrograma Unitário, como podemos citar :

HJELMFELT e WANG (1994) apresentaram um trabalho com a mesma teoria usada por LI e WANG (1996) um ano antes.

ZHAO et al. (1995) descreveram a metodologia para obtenção dos parâmetros para aplicação do método de mínimos quadrados para estimativa do Hidrograma Unitário. Através de 40 eventos observados para 3 bacias, com resultados não satisfatórios .

LIN e WANG (1996) também fizeram o mesmo que SU (1995) para obtenção do hidrograma unitário instantâneo, baseada na teoria estocástica e a teoria da cascata de reservatórios idênticos de Nash.

SANTANA et al. (1997) através de um Modelo Numérico do Terreno, obtém-se as curvas isócronas de uma bacia hidrográfica, e com elas obtém o hidrograma que por sua vez, a partir de uma curva acumulada permite a extração do hidrograma unitário.

## 2.4 - Método do Hidrograma Sintético Regionalizado

De uma análise feita pelo “U.S. Corps of Engineers”, citado em VIESSMAN et al. (1977), a largura do HU nas ordenadas correspondentes a 50% e 75% da vazão de pico qp, respectivamente  $t_{50}$  e  $t_{75}$ , devem ser colocadas no gráfico do HU de tal forma a ter a relação 1:2 em relação ao tempo de pico do HU. Com o tempo menor a esquerda do tempo do pico e o tempo maior do lado direito. Segundo SANCHEZ e LOPES (1984), o posicionamento dos parâmetros  $t_{50}$  e  $t_{75}$  em relação ao instante de ocorrência do pico deve ser feito de forma a manter 40% antes e 60% depois deste instante. Resultados análogos foram obtidos por Espey et al., citados em SANCHEZ e LOPES (1984), para bacias urbanas nos Estados Unidos.

SANCHES e LOPES (1984) fizeram a regionalização de hidrogramas unitários para bacias urbanas do Sul do Brasil. A separação do escoamento superficial do subterrâneo foi feito de forma bastante simples ligando-se através de uma reta o início e o fim do escoamento superficial. Para o cálculo do hidrograma unitário médio apresentou-se uma comparação entre os métodos existentes: Método da Média Simples, Método dos Picos Alinhados e Método da Superposição, apresentando melhor resultado o Método dos Picos Alinhados. Usando 9 bacias do Sul do país, obteve-se equações para os parâmetros como tempo de pico, tempo de base, largura do hidrograma a 25% do pico, largura do hidrograma a 50% do pico, largura do hidrograma a 75% do pico, em função da área da bacia, área impermeabilizada, declividade do leito e comprimento do talvegue. O método matemático empregado foi a regressão múltipla.

REDA (1985) recomendou uma revisão das fórmulas no futuro, com o intuito de ampliar seu domínio de aplicação, e também, devido às curtas séries históricas disponíveis, sugeriu que após há alguns anos tornar-se-ia imprescindível uma revisão das fórmulas propostas em seu trabalho à luz de mais observações.



A partir de certas características físiomorfológicas das bacias hidrográficas, foi usado por REDA (1985) um método para determinação do hidrograma unitário sintético e que seria regionalizado para todo o Estado de São Paulo.

Foram utilizados no método os registros de precipitação e vazão de 08 (oito) pequenas bacias rurais paulistas, obtidas pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), com médias de 9 (nove) enchentes por bacia (REDA e BRAGA 1987).

REDA (1985) verificou uma maior significância e consonância das fórmulas obtidas por regressão com os dados de 7 bacias, são elas: 2D-61R, 2D-59R, 3E-111R, 2D-54R, 8C-8R, 4F-38R, 5B-15R, sem considerar a bacia do posto 3C-12R. Temos, então, que o resultado final da regressão não considera os dados daquele posto.

A obtenção do hidrograma unitário de cada bacia, a partir dos estudos de várias enchentes se dá efetuando-se a determinação do hidrograma unitário médio de cada uma delas. Por regressão linear, foram obtidas fórmulas relacionando o formato do hidrograma unitário às características físiomorfológicas da bacia. Segundo REDA (1985), as fórmulas apresentadas se mostram mais representativas para bacias rurais de 30 a 300 km<sup>2</sup>, localizadas no Estado de São Paulo, pois foram com dados de bacias desta dimensão e localização que se obteve os resultados aqui apresentados.

As fórmulas mais significativas citadas por REDA (1985), a partir da análise realizada, foram:

$$t_p = 0,00276 \cdot L^{1,724} \cdot S_H^{-0,470} \quad [R^2 = 0,919] \quad (2.2)$$

$$t_p = 0,0103 \cdot A^{0,773} \cdot S_H^{-0,567} \quad [R^2 = 0,927] \quad (2.3)$$

$$q_p = 0,231 \cdot A^{1,094} \cdot t_p^{-1,167} \quad [R^2 = 0,982] \quad (2.4)$$

$$t_{50} = 0,00307 \cdot A^{0,799} \cdot S_H^{-0,750} \quad [R^2 = 0,925] \quad (2.5)$$

$$t_b = 0,0369 \cdot A^{0,780} \cdot S_H^{-0,551} \quad [R^2 = 0,960] \quad (2.6)$$

em que:

$R^2$  é o coeficiente de determinação

$t_{50}$  é a largura do HU na ordenada equivalente a 50% de  $q_p$

$S_H$  é a média harmônica das declividades de vários trechos iguais em que se divide o talvegue principal da bacia hidrográfica, obtida de:

$$S_H = \left[ \frac{1}{n_t} \sum_{i=1}^{n_t} \frac{1}{\sqrt{S_i}} \right]^{-2} \quad (2.7)$$

em que:

$$S_i = \frac{AH_i}{L / n_t} \quad (2.8)$$

$AH_i$  - é o desnível no  $i$  - ésimo trecho do talvegue

$n_t$  - é o número de trechos de igual comprimento em que foi dividido o talvegue principal (geralmente  $n_t = 10$ )

$t_p$ ,  $t_b$  e  $t_{50}$  - em horas

$q_p$  - em  $m^3/s$ . mm

$A$  - em  $km^2$

$L$  - em km

$S_H$  - adimensional (m/m)

Na figura 2.5 são apresentados os parâmetros do Hidrograma Unitário para o método utilizado por REDA(1985).

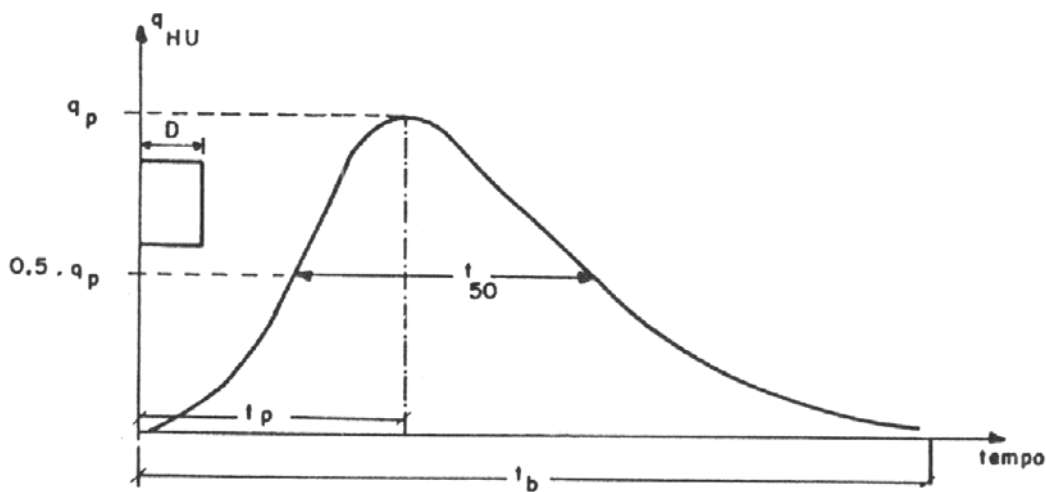


Figura 2.5 - Parâmetros do Hidrograma Unitário

Fonte : Genovez (1991)

No caso de opção por uma das equações (2.2) e (2.3), a escolha deve ser feita com critério, tendo-se em conta que a equação (2.3) tem maior coeficiente de determinação.

Reda recomenda que a duração  $D$  da precipitação efetiva unitária associada ao HU a ser usada no método proposto seja:

$$D = \frac{1}{5,9} \cdot t_p \quad (2.9)$$

DIAZ & TUCCI (1989) desenvolveram a regionalização de hidrogramas unitários para as seguintes bacias urbanas:

- Bacia do Arroio Dilúvio ( Porto Alegre - RS) - 80 km<sup>2</sup>
- Bacia do Córrego Gregório (São Carlos - SP) -15,6 km<sup>2</sup>
- Bacia do Rio Mathias e Jaguarão (Joinville - SC) 1,85 km<sup>2</sup> e 6,53 km<sup>2</sup>
- e mais onze bacias da região metropolitana de São Paulo com área variando de 12 a 6,53 km<sup>2</sup>.

Foram selecionados 71 eventos com média de 3 eventos por bacia. Selecionou-se os eventos que apresentavam consistência quanto a qualidade dos dados.

Separou - se os escoamentos através de método gráfico que se baseia na reta que liga o início da ascensão do hidrograma ao ponto em que finaliza o escoamento superficial, método visto a figura 2.1

O HU médio foi obtido coalinhando os picos determinando a ordenadas com média aritmética.

Para a regionalização dos hidrogramas Unitários médios foi utilizada a regressão com as variáveis : vazão de pico do HU ( $q_p$ ), tempo de pico em minutos ( $t_p$ ), tempo de base em minutos ( $t_b$ ), largura do hidrograma a 50 % do pico em minutos ( $t_{50}$ ), largura do hidrograma a 25% do pico do hidrograma ( $t_{25}$ ), Área da bacia em  $\text{km}^2$ , perímetro da bacia em km, comprimento do talvegue do curso principal, porcentagem da área impermeável e comprimento do talvegue principal até o CG da bacia em km, a área impermeável da bacia foi obtida através de fotografia aérea. Os grupos que foram divididos em quatro :

grupo I - Área impermeável maior que 10%

grupo II - Área da bacia menor que  $30 \text{ km}^2$

grupo III - Área impermeável maior que 10% e Área da bacia menor que  $30 \text{ km}^2$

grupo IV - Todas as bacias .

O grupo que apresentou melhor resultado foi o grupo III, devido às limitações do tamanho da bacia e área impermeável (menor que  $30 \text{ km}^2$  e maior que 10% da área impermeável), seguido do grupo II (menor que  $30 \text{ km}^2$ ), isto se dá devido a melhor adaptação do método de hidrograma unitário a pequenas bacias e também a menor incidência de uma variável de difícil definição, o escoamento de base que diminuem com o aumento da impermeabilidade da bacia.

Uma observação que deve ser feita a respeito deste tipo de estudo é que existe uma limitação devido a área impermeável, que é uma variável explicativa dos efeitos da urbanização no escoamento superficial da bacia, porém não fornece informações a respeito do sistema de drenagem e localização da área urbanizada.

KRUGER e KAVISKI (1996) desenvolveram um método computacional para regionalização de vazões para as bacias do Estado do Paraná. Utilizaram as técnicas de interpolação espacial, análise de agrupamentos, análise discriminante e análise de regressão múltipla. Com apenas as informações de Latitude e Longitude obtém, automaticamente, as informações hidrológicas para um ponto em um rio para o qual não existem dados observados.

SALINAS e ESPINOSA (1996) desenvolveram um programa de computador para obtenção de HU através dos métodos Instantâneo, Triangular e Adimensional para a Bacia do Rio Santiago, México. Para obtenção da altura média da chuva na bacia foi utilizado o método dos polígonos de Thiessen.

O programa ainda pode fornecer hietograma da precipitação efetiva, HU e hidrograma diagnosticado, em ambiente Windows.

## **2.5 - Método do Hidrograma Unitário Sintético de Snyder**

Método do Hidrograma Unitário Sintético proposta por SNYDER (1938) consiste num grupo de equações, baseadas em estudos realizados nos Montes Appalaches, a leste dos Estados Unidos. LINSLEY (1949) nas montanhas rochosas, mostrou que essas equações poderiam ser empregadas a outras regiões daquele país, modificando-se algumas constantes chamadas de  $C_t$  e  $C_p$ .

Tabela 2.1 – Valores obtidos para os parâmetros  $C_t$  e  $C_p$  do Método de Snyder (1938) por vários pesquisadores. Fonte: Adaptado de Reda (1985)

PESQUISADOR (ES) E REGIOES ESTUDADAS	$C_t$	$C_p$
SNYDER (1938) – Bacias rurais nas montanhas Apalaches – EUA (*)	De 1,8 a 2,2	De 0,56 a 0,69
UEHARA (1964) – Bacias rurais em afluentes do rio Paraíba do Sul, Estado de São Paulo, com áreas de drenagem entre 200 e 280 km <sup>2</sup>	De 0,83 a 1,88	-----
LINSLEY (1949) – Bacias rurais em Serra Nevada - EUA	De 0,7 a 1,0	De 0,35 a 0,50
EAGLESON (1962) – 5 bacias urbanas em Kentucky - EUA	De 0,21 a 0,32	De 0,24 a 0,63
WRIGTH-McLAUGHLIN ENGINEERS, INC (1969) – Pequenas bacias urbanas, com I entre 0 e 80%, em Denver, Colorado - EUA	De 0,20 a 0,40	De 0,40 a 0,60
E.U.A. CORPS OF ENGINEERS (1959) – Pequenas bacias desde o sul da Califórnia ate o Golfo do México	De 0,4 a 8,0	De 0,31 a 0,94
REDA (1985) – Estado de São Paulo	De 0,64 a 8,22	De 0,63 a 0,97

(\*) Citado por Reda (1985).

No método Snyder, foi adotado, como parâmetro básico, o “lag time” ou tempo de retardamento da bacia,  $t_{p1}$ , definido como o intervalo de tempo compreendido entre o instante correspondente ao centro de gravidade do hietograma do excesso de chuva e o pico do HU. A expressão proposta por Snyder é:

$$t_{p1} = \frac{C_t}{1,33} \cdot (L \cdot L_g)^{0,3} \quad (2.10)$$

em que:

$t_{pl}$  - Tempo de retardamento do pico, tempo entre o centro de gravidade da chuva e o instante de pico (em horas)

L - Comprimento do talvegue principal( em Km )

$L_g$  - Comprimento medido sobre o talvegue principal desde o ponto de despejo até a projeção normal do baricentro do mapa da bacia sobre aquele talvegue. (em Km)

Kopp & Paiva, para a região do Estado de São Paulo, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, definiu a equação para  $C_t$  como :

$$C_t = 0,00005126 \cdot \frac{P^{7,8912238} \cdot L_g^{0,3618829}}{A^{1,8870111} \cdot L^{4,235859} \cdot S_H^{0,09506148}} \quad R^2 = 0,95 \quad (2.11)$$

em que :

$C_t$  = Coeficiente adimensional

P = perímetro da bacia em Km

$L_g$  = Comprimento do rio até o centro de gravidade da bacia em Km

A = Área de drenagem da bacia em Km<sup>2</sup>

L = Comprimento do rio principal em Km

SH = Declividade ponderada do rio principal em m/m

O valor da vazão de pico  $q_p$  do HU para uma chuva unitária, dando uma altura de deflúvio de 1 cm, é obtida por meio da equação:

$$q_p = 2,75 \cdot \frac{C_p \cdot A}{t_{pl}} \quad (2.12)$$

em que :

$q_p$  = pico de vazão, em m<sup>3</sup>/s;

A = área da bacia, em Km<sup>2</sup>;

Kopp & Paiva obteve para a região do Estado de São Paulo, Santa Catarina e Rio Grande do Sul a equação para C<sub>p</sub>:

$$C_p = 1642,4373 \cdot \frac{L^{6,88903} \cdot S_H^{0,28526}}{A^{0,00209} \cdot L_g^{1,5078} \cdot P^{5,91827}} \quad R^2 = 0,94 \quad (2.13)$$

Ele é adimensional (considerada uma característica física regional), em que:

C<sub>p</sub> = Coeficiente adimensional

P = perímetro da bacia em Km

L<sub>g</sub> = Comprimento do rio até o centro de gravidade da bacia em Km

A = Área de drenagem da bacia em Km<sup>2</sup>

L = Comprimento do rio principal em Km

S<sub>H</sub> = Declividade ponderada do rio principal em m/m.

t<sub>pl</sub> = Tempo de retardamento do pico, intervalo entre o baricentro da chuva e o instante de pico, em horas

Para avaliar o tempo de base, t<sub>b</sub>, do Hidrograma Unitário, temos a seguinte equação dada por Snyder:

$$t_b = 3 + \frac{t_{pl}}{8} \quad (2.14)$$

em que :

t<sub>b</sub> - tempo de base (em dias )

t<sub>pl</sub> - tempo de retardamento de pico, intervalo entre o baricentro da chuva e o instante de pico, em horas



Por último, admitiu-se que essas relações fossem válidas para hidrograma unitários produzidos por chuvas de duração D, tendo-se:

$$D = \frac{t_{pl}}{5,5} \quad (2.15)$$

Para qualquer duração de chuva  $D_r$  diferente desta, o tempo de retardamento do pico da equação 2.12 deve ser ajustada pela fórmula :

$$t'_{pl} = t_{pl} + \frac{D_r - D}{4} \quad (2.16)$$

em que :

$D$  = tempo de duração de chuva

$D_r$  = tempo de duração de chuva diferente do tempo de duração calculada pela equação 2.15

$t_{pl}$  = tempo de retardamento de pico em horas

$t'_{pl}$  = tempo de retardamento de pico corrigido em horas

As equações ( 2.10), (2.12) e (2.14) servem para determinar os elementos principais do HU, enquanto que o traçado não é definido por tais elementos. O desenho do Hidrograma Unitário poderá ser feito pela sensibilidade do calculista, considerando que a área sob o mesmo, por definição, deve corresponder ao volume de deflúvio, ou  $V = 1 \text{ cm} \times \text{área da bacia}$ .

Alguns pesquisadores já fizeram trabalhos para definir os coeficientes  $C_t$ ,  $C_p$  para suas regiões. UEHARA ( 1989) procurou estabelecer alguns valores para o coeficiente  $C_t$ , válidos para as bacias do Rio Paraíba (São Paulo).

Ribeirão dos Motas:  $A = 101,4 \text{ km}^2$

(Em Tamandaré)  $L = 30,0 \text{ km}$

$$L_g = 15,0 \text{ km}$$

$t_p$  observado: 4,3 a 5,3 horas, média de 4,5 horas.

em que:

A - Área da bacia em  $\text{Km}^2$

L - Comprimento do talvegue em Km

$L_g$  - Comprimento do talvegue da projeção CG da bacia sobre o talvegue até a saída da bacia em Km

$t_p$  - Tempo de pico (em horas)

Ribeirão Taboão:  $A = 76,5 \text{ km}^2$

(No Haras Mondesir)  $L = 30,0 \text{ km}$

$L_g = 15,0 \text{ km}$

$t_p$  observado: 3,8 a 3,4 horas, média de 3,5 horas

Os coeficientes observados foram:

Ribeirão das Motas:  $C_t = 0,82$

Ribeirão Taboão:  $C_t = 0,83$

Os valores encontrados são inferiores aos limites dados por Snyder que os verificou em região muito mais montanhosa que os da bacia do Rio Paraíba, mas dentro dos limites indicados por LINSLEY (1949) para a região de Sierra Nevada.

Foram estudados por KÔPP & PAIVA (1993) os métodos de Snyder, Commos e Hidrograma Unitário Adimensional do “Soil Conservation Service” (SCS), para se avaliar a determinação do Hidrograma Unitário Sintético em bacias situadas no Estado de São Paulo, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

Inicialmente foram selecionadas 12 (doze) bacias hidrográficas rurais cujas áreas variam entre 11 a  $406 \text{ km}^2$ . Em seguida foram levantados os dados físicos das bacias. O tempo de concentração de cada bacia foi adotado como o menor tempo de ascensão do escoamento, segundo recomendação de Pilgrim, citado por PITHAN (1973). O tempo de

duração da precipitação efetiva foi usada como 1/3 e 1/5 do tempo de concentração da bacia conforme recomendação de SNYDER (1938).

Obteve-se a separação do escoamento superficial do subterrâneo através do método proposto por LINSLEY et all. (1958). Este método considera que o tempo transcorrido desde o pico do hidrograma até o término do escoamento superficial é constante para cada bacia, sendo obtido pela equação :

$$N = 0,8266. A^{0,2} \quad (2.17)$$

em que:

N - tempo do pico até o final da recessão em dias

A - Área de drenagem da bacia em km<sup>2</sup>

A precipitação efetiva foi determinada pela relação entre o volume escoado superficialmente e a área de drenagem da bacia hidrográfica em estudo.

A distribuição no tempo da precipitação efetiva, foi feita através do cálculo do índice de infiltração , que admite a taxa de infiltração constante ao longo da chuva, descrito em WILKEN (1978).

Obtido o HU para cada evento de cada bacia foi determinado o Hidrograma Unitário Médio através do método dos picos alinhados e descritos em TUCCI (1991). Adotou-se para Estado de São Paulo, Santa Catarina e Rio Grande do Sul os coeficientes  $C_t = 2$  e  $C_p = 0,625$ , valores estes a media aritmética do intervalo dado por Snyder.

Através de 3 métodos para a determinação de Hidrograma Unitário Sintético (Método de Snyder, Método de Commons e Método do Hidrograma Unitário Adimensional) obtiveram os valores de vazão de pico, tempo de pico e do tempo de base para cada bacia e para cada método utilizado. Sendo comparado em seguida com os dados dos hidrogramas observados .

O método de SNYDER (1938), não estimou satisfatoriamente o tempo de pico uma vez que o coeficiente “b” da equação linear difere estatisticamente de 1,0 (um) e  $t(b) > t(tab)$ . Nenhuma metodologia testada estimou de maneira satisfatória a vazão de pico, o método de Snyder (1938) não apresentou correlação com os valores observados ( $F_{calc} < F_{tab}$ ), indicando que este método não estimou de maneira satisfatória o valor da vazão de pico nas bacias estudadas.

Kopp & Paiva (1993), utilizando de regressão não linear, obtiveram equações para  $t_p$ ,  $q_p$ ,  $t_{50}$ ,  $t_{75}$  e  $t_b$  estimando satisfatoriamente  $q_p$ ,  $t_p$  e  $t_b$  para as bacias estudadas, pois a relação linear mostrou que para estes parâmetros, estatisticamente o coeficiente “a” da equação linear não difere de 0 (zero),  $t(a) < t(tab)$ , e o coeficiente “b” da mesma equação não difere de 1,0 (um),  $t(b) < t(tab)$ . Correlacionou bem os valores de  $q_p$ ,  $t_p$  e  $t_b$  estimados com os valores observados, nas 12 bacias estudadas ( $F_{calc} > F_{tab}$ ), com  $R^2$  igual a 0,818, 0,861 e 0,857, respectivamente. As equações obtidas são :

$$C_p = 1642,4373 \cdot \frac{L^{6,88903} \cdot S_H^{0,28526}}{A^{0,00209} \cdot L_g^{1,5078} \cdot P^{5,91827}} \quad (2.18)$$

$$C_t = 0,00005126 \cdot \frac{P^{7,8912238} \cdot L_g^{0,3618829}}{A^{1,8870111} \cdot L^{4,235859} \cdot S_H^{0,09506148}} \quad (2.19)$$

$$t_p = 0,00018566 \cdot \frac{P^{6,71879518} \cdot L_g^{0,2585}}{A^{1,54085007} \cdot L^{3,10478968} \cdot S_H^{0,09434621}} \quad (2.20)$$

$$q_p = 0,15048556 \cdot \frac{A^{0,11350535} \cdot L^{5,27039918}}{t_p^{3,21658973} \cdot L_g^{1,75164374} \cdot S_H^{0,13209636}} \quad (2.21)$$

$$t_{50} = 0,15923607 \cdot \frac{t_p^{1,96411362}}{A^{0,22946027}} \quad (2.22)$$

$$t_{75} = 0,01638469 \cdot \frac{t_p^{2,15605243}}{A^{0,033681994}} \quad (2.23)$$

$$t_b = 4,61358076 \cdot \frac{t_p^{1,00775523}}{A^{0,06326541}} \quad (2.24)$$

## 2.6 - Regressão Linear

### 2.6.1 – Introdução

COSTA NETO (1977) define regressão através do relacionamento de variáveis dependentes e independentes, sendo dados diversos pontos experimentais no diagrama de dispersão isto sugere a existência de uma relação funcional entre as duas variáveis. Surgindo assim o problema de se determinar uma função que exprima esse relacionamento.

Portanto, se os pontos experimentais se apresentarem como na figura 2.6, admite-se existir um relacionamento funcional entre os valores de x e y, responsável pelo aspecto do diagrama, e que explica grande parte da variação de y com x. Este relacionamento funcional corresponde a linha existente na figura 2.6, que é a linha de regressão:

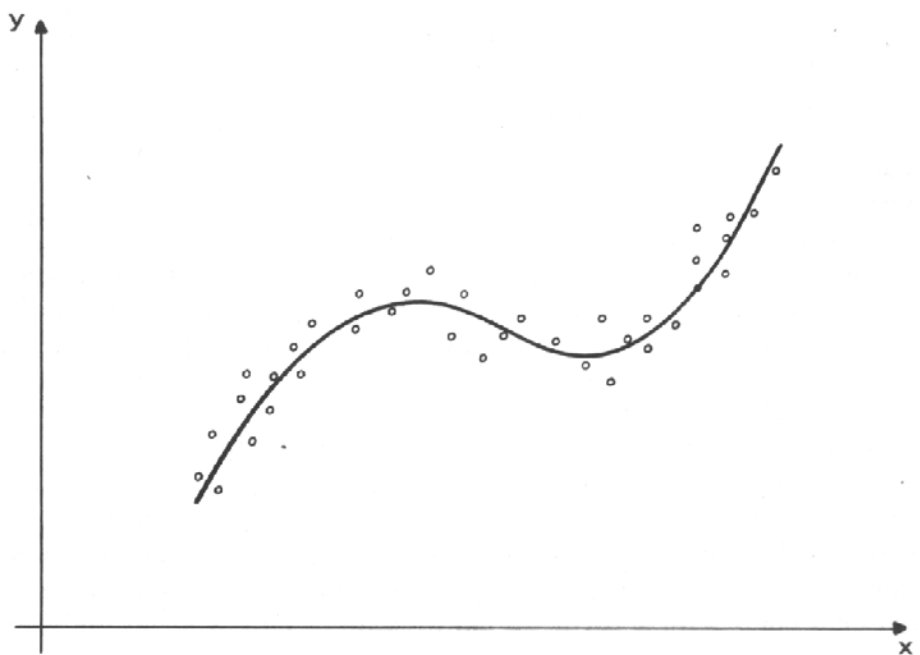


Figura 2.6 - Linha de regressão - Fonte : Costa Neto (1977)

Uma parcela da variação, portanto, não é explicada pela função encontrada. Admitimos porém existir uma função que justifica, em média, a variação de uma das variáveis com a outra.

### 2.6.2 - Regressão Linear Múltipla

Considerando o comportamento de uma variável dependente  $y$  em função de duas ou mais variáveis independentes  $x_i$ , tem-se, portanto uma regressão múltipla. Se admitir-se que  $y$  varia linearmente com as variáveis  $x_i$ , tem-se uma regressão linear múltipla.

Um caso mais simples pode ser analisado, em que tem-se apenas duas variáveis independentes  $x$  e  $z$ . Portanto obtém-se uma equação da forma:

$$y = ax + bz + c \quad (2.25)$$

em que :

y = variável dependente

x e z = variáveis independentes

a,b e c = constantes a calcular

$$(y = ax + bz + c) \cdot x \quad xy = ax^2 + bzx + cx \quad (2.26)$$

$$(y = ax + bz + c) \cdot z \quad zy = axz + bz^2 + cz \quad (2.27)$$

para todos os dados aplica-se somatório:

$$\begin{cases} \sum y = a\sum x + b\sum z + cn \\ \sum xy = a\sum x^2 + b\sum zx + c\sum x \\ \sum zy = a\sum xz + b\sum z^2 + c\sum z \end{cases}$$

escrevendo de forma matricial :

$$\begin{bmatrix} \sum x & \sum z & n \\ \sum x^2 & \sum zx & \sum x \\ \sum xz & \sum z^2 & \sum z \end{bmatrix}_{3 \times 3} = \text{matriz A}$$

$$\begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix}_{1 \times 3} = \text{matriz X}$$

$$\begin{bmatrix} \sum y \\ \sum xy \\ \sum zy \end{bmatrix}_{1 \times 3} = \text{matriz B}$$

ajuste múltiplo pelo processo dos mínimos quadrados:

$$\begin{bmatrix} \sum x & \sum z & n \\ \sum x^2 & \sum zx & \sum x \\ \sum xz & \sum z^2 & \sum z \end{bmatrix}_{3 \times 3} \cdot \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix}_{1 \times 3} = \begin{bmatrix} \sum y \\ \sum xy \\ \sum zy \end{bmatrix}_{1 \times 3}$$

a solução :

$$\text{Matriz X} = \text{Matriz B} \cdot \text{Matriz A}^{-1}$$

$A^{-1}$  = matriz inversa da matriz de A

o coeficiente de determinação  $R^2$  afere o ajuste da regressão :

$$R^2 = \frac{S^2 \text{ explicada por } f(x) \text{ ajustada}}{S^2 \text{ do experimento}} \quad (2.28)$$

$S^2$  é a variância expressa pela fórmula :

$$S^2 = \sum \frac{y^2}{n} - \left( \sum \frac{y}{n} \right)^2 \quad (2.29)$$

donde vem que :

$$R^2 = \frac{\frac{\sum \hat{y}^2}{n} - \left( \frac{\sum \hat{y}}{n} \right)^2}{\frac{\sum y^2}{n} - \left( \frac{\sum y}{n} \right)^2} \quad (2.30)$$

$\hat{y}$  = variável dependente explicada por  $f(x)$ , (ajustada)

$n$  = números de eventos estudados

$y$  = variável dependente observada

$$0 \leq R^2 \leq 1$$

A correlação linear entre as variáveis pode ser calculado através da expressão:

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{\left[ n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right] \cdot \left[ n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n y_i \right)^2 \right]}} \quad (2.31)$$

em que :

$r$  é o coeficiente de correlação linear de Pearson

$y$  e  $x$  são variáveis

$n$  é o número de observações para cada variável.





### **3 - METODOLOGIA**

#### **3.1- Introdução**

Neste capítulo, mostra-se os procedimentos utilizados na elaboração de todo o estudo, desde a busca de dados junto ao DAEE (SP) até a obtenção do hidrograma médio para cada bacia.

Logo após são apresentados os processos de como serão utilizados estes dados para a obtenção das equações regionalizadas do hidrograma unitário sintético e, também, a regionalização dos coeficientes do hidrograma unitário de Snyder, para o Estado de São Paulo.

#### **3.2- Análise das Bacias a serem estudadas**

Dentre as bacias do Estado de São Paulo, foram escolhidas as pequenas bacias com linígrafo e pluviógrafo dentro da bacia ou próximos, chegando-se a 15 bacias hidrográficas rurais com áreas entre 38 e 398 km<sup>2</sup>, pertencentes a rede de postos hidrográficos do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE - SP). Estas bacias são apresentadas na tabela 3.1, em que são apresentados os dados físicos de cada bacia. Na tabela 3.1 têm-se que :

A = Área da bacia

$L$  = comprimento do talvegue principal

$L_g$  = Comprimento do talvegue da projeção do CG da bacia sobre o talvegue até a saída da bacia em Km

$S_i$  = Declividade média do talvegue em m/m

$S_H$  = a declividade média harmônica do talvegue principal

$t_c$  = tempo de concentração

$I_c$  = índice de compacidade que é a relação entre o perímetro da bacia  $P$  e a circunferência de um círculo de área igual a área da bacia sendo calculado por:

$$I_c = \frac{0,28 \bullet P}{\sqrt{A}} \quad (3.1)$$

em que :

$P$  = perímetro da bacia em km

$A$  = área da bacia em  $\text{Km}^2$

$I_f$  = Fator de forma da bacia dada pela equação:

$$I_f = \frac{A}{L^2} \quad (3.2)$$

em que :

$A$  = em  $\text{Km}^2$

$L$  = em Km

Tabela 3.1 – Dados das Bacias Hidrográficas Estudadas

Posto Fluviométrico	A(Km <sup>2</sup> )	Ic	If	L(Km)	L <sub>g</sub> (Km)	S <sub>i</sub> (m/m)	S <sub>H</sub> (m/m)	t <sub>c</sub> (h)	P(Km)
4B-13R	259	1,57	0,11	48,7	27	0,0062	0,0061	8,5	91
4B-14R	178	1,69	0,21	28,9	9,6	0,0059	0,0083	4,9	81,5
4B-17R	264	1,31	0,16	40,3	26,31	0,0048	0,0049	7,2	78,5
3C-12R	346	1,59	0,24	37,8	14,5	0,0044	0,0037	5,5	105,5
5C-31R	142	1,34	0,39	19	9,5	0,0059	0,0066	4,2	55,75
8C-8R	184	1,55	0,18	32,4	17	0,0026	0,0031	7,5	75
8C-9R	398	1,3	0,28	37,6	16,1	0,0027	0,0028	8,8	94,7
2D-54R	161	1,48	0,22	27,2	10	0,0329	0,0176	2,7	67
2D-59R	67	1,26	0,32	14,4	7	0,0340	0,0183	1,5	36,8
2D-61R	38	1,66	0,12	18,1	10,5	0,0086	0,0057	2,7	36,5
3E-110R	66	1,46	0,25	16,1	8,5	0,0029	0,0032	4,8	42,5
3E-111R	129,4	1,72	0,18	27	9,2	0,0007	0,0007	8,7	70
3E-113R	135	1,69	0,18	27,2	14,1	0,0041	0,0066	5	71,9
4E-25R	130	1,42	0,23	23,6	12,05	0,0013	0,0016	6,8	60,5
4F-38R	270	1,72	0,15	42,5	23,5	0,0071	0,0024	5,5	100,8



### 3.3- Determinação do Tempo de Concentração

Determinou-se o tempo de concentração de cada bacia através da equação do “Califórnia Culverts Practive, Califórnia Highways and Public Works” ou Fórmula de Kirpich citada por SOUZA PINTO et al. (1976) e PFAFSTETTER (1976).

$$t_c = 57 \cdot \left[ \frac{L^3}{H^*} \right]^{0,385} \quad (3.3)$$

ou

$$t_c = 57 \cdot \left[ \frac{L^2}{S'} \right]^{0,385} \quad (3.4)$$

em que:

$t_c$  = tempo de concentração em minutos.

$S'$  = é aproximadamente a declividade média da bacia de drenagem, em m/km, obtido com o triângulo de área equivalente.

$L$  = comprimento da bacia, medido ao longo do talvegue, da seção em estudo até o ponto mais afastado do talvegue, e daí até o divisor de água, em km.

$H^*$  = é a diferença de cotas entre o ponto mais afastado da bacia no divisor de água e a seção da bacia considerada (os mesmos pontos usados para obter  $L$ ) em metros.

Existem várias fórmulas para se achar o  $t_c$ . Porém, esta fórmula de Kirpich tem sido a mais utilizada nos diferentes estudos, como por exemplo, GENOVEZ (1991), SOUZA PINTO et al. (1976) e PAFSTETTER (1976)

Segundo SOUZA PINTO et al. (1976) é difícil dizer, a priori, qual a expressão que dará melhores resultados em uma dada bacia. Num confronto entre as diversas fórmulas observaram uma razoável concordância entre as fórmulas de Picking, Ven Te Chow e de Kirpich, indicando de certa forma, um grau de generalização superior para

as expressões deste tipo. Num exemplo apresentado os autores utilizam a equação 3.4.

É muito discutível a utilização desta ou de outras equações, mas neste caso em estudo, o que se procura é um valor que represente a variação do tempo de concentração em função das características físicas das bacias utilizadas, e não o valor exato deste tempo.

### **3.4 - Determinação dos Hidrogramas**

Para a escolha da duração da chuva  $D$  a ser utilizada na obtenção do hidrograma unitário, foram analisadas várias equações propostas por diversos pesquisadores, e foi adotada a equação do S.C.S. apresentada em VIESSMAN et all. (1977) :

$$D = 0,133 \cdot t_c \quad (3.5)$$

Esta foi escolhida por que vem sendo utilizada com frequência em vários estudos.

A princípio selecionou-se um grande número de enchentes de todas as bacias em estudo levando em consideração grandes vazões de chuvas isoladas, através da leitura dos linigramas obtidos através do DAEE - SP.

Através das curvas cota-vazão pode-se obter os hidrogramas selecionados. Em seguida verificou-se a existência da chuva correspondente a estas enchentes através de pluviômetros e pluviógrafos das bacias, determinou-se as chuvas correspondentes às enchentes selecionadas. Neste momento foram desprezados

vários destes eventos por falta de dados da chuva correspondente e devido a não uniformidade das chuvas.

Para obtenção da distribuição no tempo da chuva média observada na bacia foram inicialmente utilizadas os totais diários dos pluviômetros e pluviógrafos. Utilizando-se a “Carta do Brasil” do IBGE, na escala 1 : 50.000, através da rede de Thiessem foram calculados os totais diários médios. Em seguida, estes valores médios foram distribuídos no tempo utilizando os dados do pluviógrafo.

A distribuição dos números de eventos por bacia são:

4B - 13R.....	12 eventos
4B - 14R.....	13 eventos
4B - 17R.....	08 eventos
3C - 12R .....	10 eventos
5C - 31R .....	10 eventos
8C - 8R .....	12 eventos
8C - 9R .....	12 eventos
2D - 54R .....	12 eventos
2D - 59R .....	14 eventos
2D - 61R .....	19 eventos
3E -110R.....	05 eventos
3E -111R.....	11 eventos
3E -113R.....	13 eventos
4E - 25R.....	10 eventos
4F - 38R.....	15 eventos

Para se obter o volume de escoamento superficial observado foi feita a separação dos escoamentos utilizando o método no qual se loca os pontos A, B e C conforme já comentado (Fig. 2.1) no item 2.2.3.



### 3.5- Obtenção do Hidrograma Unitário para cada Evento

#### 3.5.1- Determinação do Volume Total Escoado Superficialmente

O volume total de escoamento superficial obteve-se através do cálculo da área do hidrograma de escoamento superficial obtido no item 3.4. Pode ser feito através de um planímetro ou dividindo a figura em figuras geométricas de área conhecida.

#### 3.5.2.- Determinação do Hidrograma Unitário para cada Evento

De posse do volume total do escoamento superficial e da Área da Bacia (tabela 3.1) em questão, calculamos a precipitação efetiva através da equação:

$$P_e = \frac{V_{t_{es}}}{A_b} \quad (3.6)$$

em que :

$P_e$  = precipitação efetiva em mm

$V_{t_{es}}$  = volume total escoado superficialmente em  $m^3$

$A_b$  = área da bacia em  $Km^2$

Através das ordenadas de vazão do escoamento superficial do hidrograma em estudo e da precipitação efetiva ( $P_e$ ) chega-se ao hidrograma unitário da seguinte forma:

$Q_{hi}$  \_\_\_\_\_ 1 mm

$Q_i$  \_\_\_\_\_  $P_e$

donde vem :

$$Q_{hu} = \frac{Q_i}{P_e} 1 \text{ mm} \quad (3.7)$$

em que:

$Q_{hu}$  = vazão do hidrograma unitário no instante  $t_i$  em  $\text{m}^3/\text{s}$

$Q_i$  = vazão do hidrograma estudado no instante  $t_i$  em  $\text{m}^3/\text{s}$

$P_e$  = precipitação efetiva em mm.

A vazão do hidrograma unitário neste estudo é em  $\text{m}^3/\text{s}.\text{mm}$  sendo que muitos autores consideram em  $\text{m}^3/\text{s}.\text{cm}$  e outros apenas o citam como  $\text{m}^3/\text{s}$ .

### **3.5.3 - Determinação do Hidrograma Unitário Médio Representativo de cada Bacia**

Selecionado os eventos e calculado os hidrogramas unitários para cada um deles foram obtidos os hidrogramas unitários médios para cada bacia.

O processo consistiu em deslocar os diversos hidrogramas de maneira a que coincidam os picos de vazão ou instantes de máxima vazão, sendo então determinada uma vazão média, o mesmo foi feito para o tempo de pico e para o tempo de base, sempre levando-se em consideração os hidrogramas mais representativos dando assim a eles maior peso no traçado do hidrograma unitário médio. Interpolando-se os dois ramos do hidrograma unitário obtém-se assim o hidrograma unitário médio representativo de cada bacia.

### **3.6 - Regionalização do Hidrograma Unitário Sintético**

Para a obtenção das equações regionalizadas do hidrograma unitário sintético das pequenas bacias rurais do Estado de São Paulo, foram utilizadas as seguintes características físicas:

- 1) Área da Bacia - O volume escoado é diretamente proporcional à superfície drenada da bacia. É determinada através de mapas, fotografias aéreas e até mesmo levantamento topográfico no local. Uma vez traçado o divisor de água da bacia a área pode ser obtida com auxílio de um planímetro.
- 2) Declividades - Podem-se considerar a declividade do canal principal do rio, a declividade média dos afluentes e, ainda, a declividade geral do terreno. De maneira geral, quanto maior a declividade, maior a velocidade de escoamento e relativamente mais altos os picos do hidrograma. Pode ser determinados através de levantamentos planialtimétricos.
- 3) Dimensões do canal - Quantos mais largos os rios, maior o volume acumulado e conseqüentemente, maior o efeito moderador sobre a onda de cheia. Pode ser determinada através de levantamentos topográficos ou fotos aéreas.
- 4) Forma - Uma bacia alongada pode produzir um hidrograma menos pronunciado do que outra em forma de leque, em que a drenada poderia se dar mais rapidamente.

#### **3.6.1 - Regressão Linear**

Através do Software MINITAB for Windows versão 10., usado para calcular a Regressão Linear Múltipla, determinando-se as equações do hidrograma unitário sintético para o Estado de São Paulo apresentados no item 4.4.

### 3.7 - Regionalização dos Coeficientes do Hidrograma Unitário Sintético de Snyder

A partir das equações (2.10) e (2.12) dos Hidrogramas Unitários Médios obtidos para cada bacia são obtidos os coeficientes  $C_t$  e  $C_p$  para cada bacia da seguinte forma:

As equações (2.10) e (2.12), só são válidas para a duração da chuva:  $D = t_{pl}/5,5$  (equação 2.15) caso seja diferente desta duração deve-se fazer um ajuste no  $t_{pl}$  observado transformando-o através da equação 2.16, só após o ajuste de  $t_{pl}$  que passa a se chamar  $t'_{pl}$ , e de posse dos dados de  $L$  e  $L_g$  calcula-se  $C_t$  na equação (2.10).

Obtido  $t_p$  e  $q_p$  observados (do Hidrograma Unitário estudado) e a área da bacia calcula-se  $C_p$  através da equação 2.12. Na tabela 3.2 é apresentado os resultados obtidos para os coeficientes do hidrograma unitário de Snyder para as bacias.

Bacia	qp(m3/ s.mm)	tpl (h)	t'pl (h)	tp (h)	A ( Km2)	L (Km)	Lg (Km)	Ct	Cp	Log Ct	Log Cp	D (h)
4B-13R	6,91	12,38	12,12	13,00	259,00	48,70	27,00	1,87	1,19	0,27	0,07	1,250
4B-14R	6,00	5,63	5,56	6,00	178,00	28,90	9,60	1,37	0,68	0,14	-0,17	0,750
4B-17R	2,85	27,5	26,50	28,00	264,00	40,30	26,31	4,36	1,04	0,64	0,02	1,000
3C-12R	1,68	52,58	50,40	53,00	346,00	37,80	14,50	10,11	0,89	1,00	-0,05	0,833
5C-31R	6,20	7,67	7,49	8,00	142,00	19,00	9,50	2,09	1,18	0,32	0,07	0,667
8C-8R	2,70	27,5	26,50	28,00	184,00	32,40	17,00	5,31	1,41	0,72	0,15	1,000
8C-9R	2,80	46,13	44,37	46,80	398,00	37,60	16,10	8,63	1,13	0,94	0,05	1,333
2D-54R	6,00	4,79	4,68	5,00	161,00	27,20	10,00	1,16	0,63	0,06	-0,20	0,417
2D-59R	4,40	3,88	3,76	4,00	67,00	14,40	7,00	1,25	0,89	0,10	-0,05	0,250
2D-61R	2,13	4,79	4,68	5,00	38,00	18,10	10,50	1,29	0,95	0,11	-0,02	0,417
3E-110R	3,10	4,67	4,62	5,00	66,00	16,10	8,50	1,40	0,79	0,15	-0,10	0,667
3E-111R	0,88	35,33	34,06	36,00	129,40	27,00	9,20	8,66	0,84	0,94	-0,08	1,333
3E-113R	6,00	3,62	3,65	4,00	135,00	27,20	14,10	0,81	0,59	-0,09	-0,23	0,750
4E-25R	0,87	37,5	36,05	38,00	130,00	23,60	12,05	8,80	0,87	0,95	-0,06	1,000
4F-38R	1,60	42,58	40,86	43,00	270,00	42,50	23,50	6,84	0,88	0,83	-0,06	0,833

Tabela 3.2 - Dados usados para o cálculo dos coeficientes  $C_t$  e  $C_p$  e seus respectivos logarítimos usados na regressão

## **4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **4.1 – Introdução**

Após o levantamento dos hidrogramas unitários de cada evento para cada bacia, os Hidrogramas Unitários foram coalinhados conforme item 3.5.3, explicado anteriormente. Os gráficos resultantes deste alinhamento de picos são apresentados no item 4.2. Em seguida foi obtido um hidrograma médio representativo da bacia. Deste hidrograma médio foram obtidos os parâmetros que caracterizam o hidrograma unitário (vazão de pico, tempo de pico, tempo de base, tempo a 50% da vazão de pico e tempo a 75% da vazão de pico) apresentados no item 4.3.

### **4.2 - Hidrogramas Unitários Coalinhados para as Bacias Estudadas**

De posse dos Hidrograma Unitários individuais obtidos para cada evento, deslocou-os de forma a coalinhar os picos de máxima vazão. Os gráficos e os alinhamentos dos picos foram feitos utilizando-se o Software HAVARD GRAPHICS FOR WINDOWS.

Os gráficos dos hidrogramas unitários coalinhados estão documentados nas figuras 4.1 a 4.15.

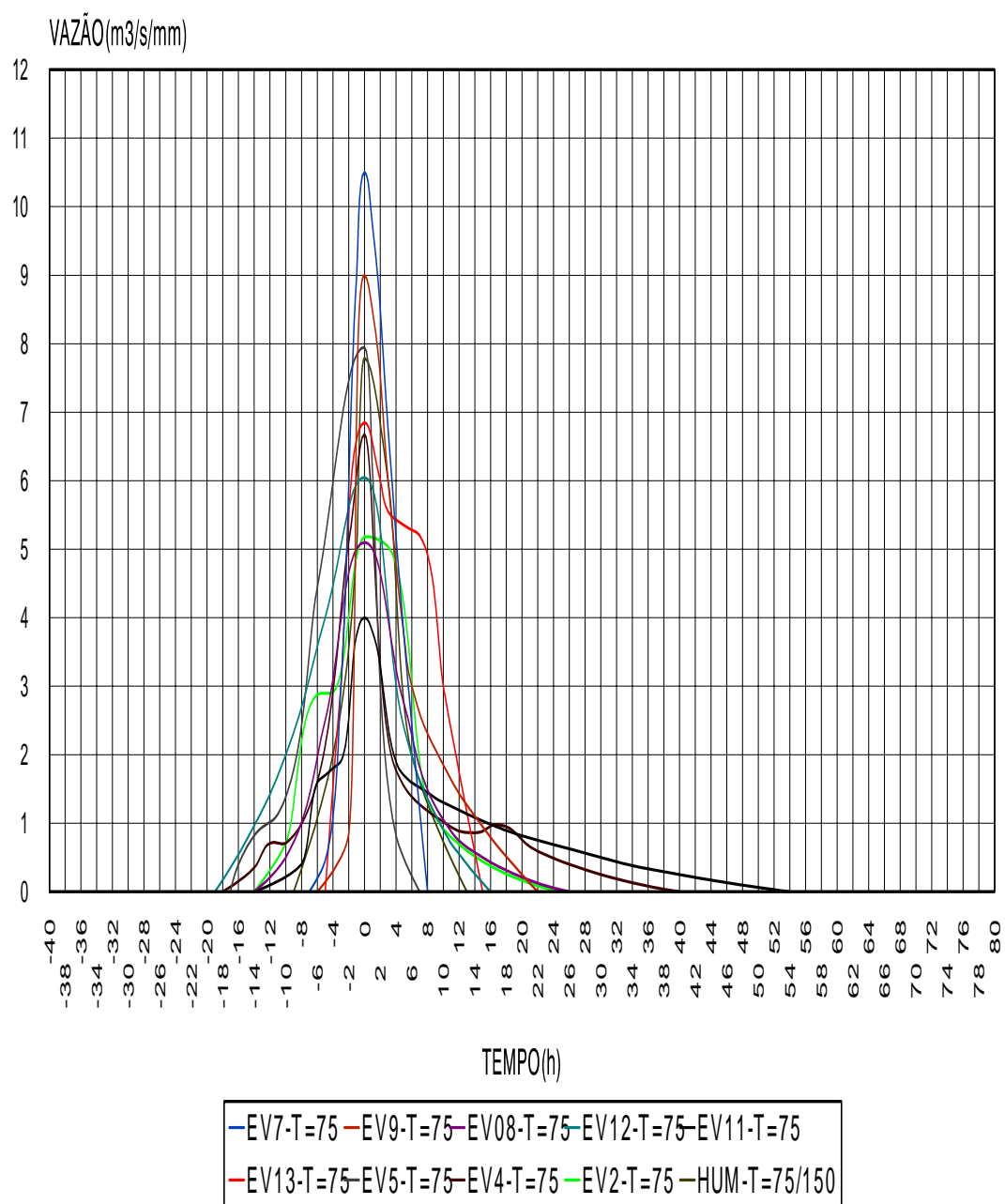


Figura 4.1 - HIDROGRAMAS UNITARIOS COALINHADOS 4B13R - T=75

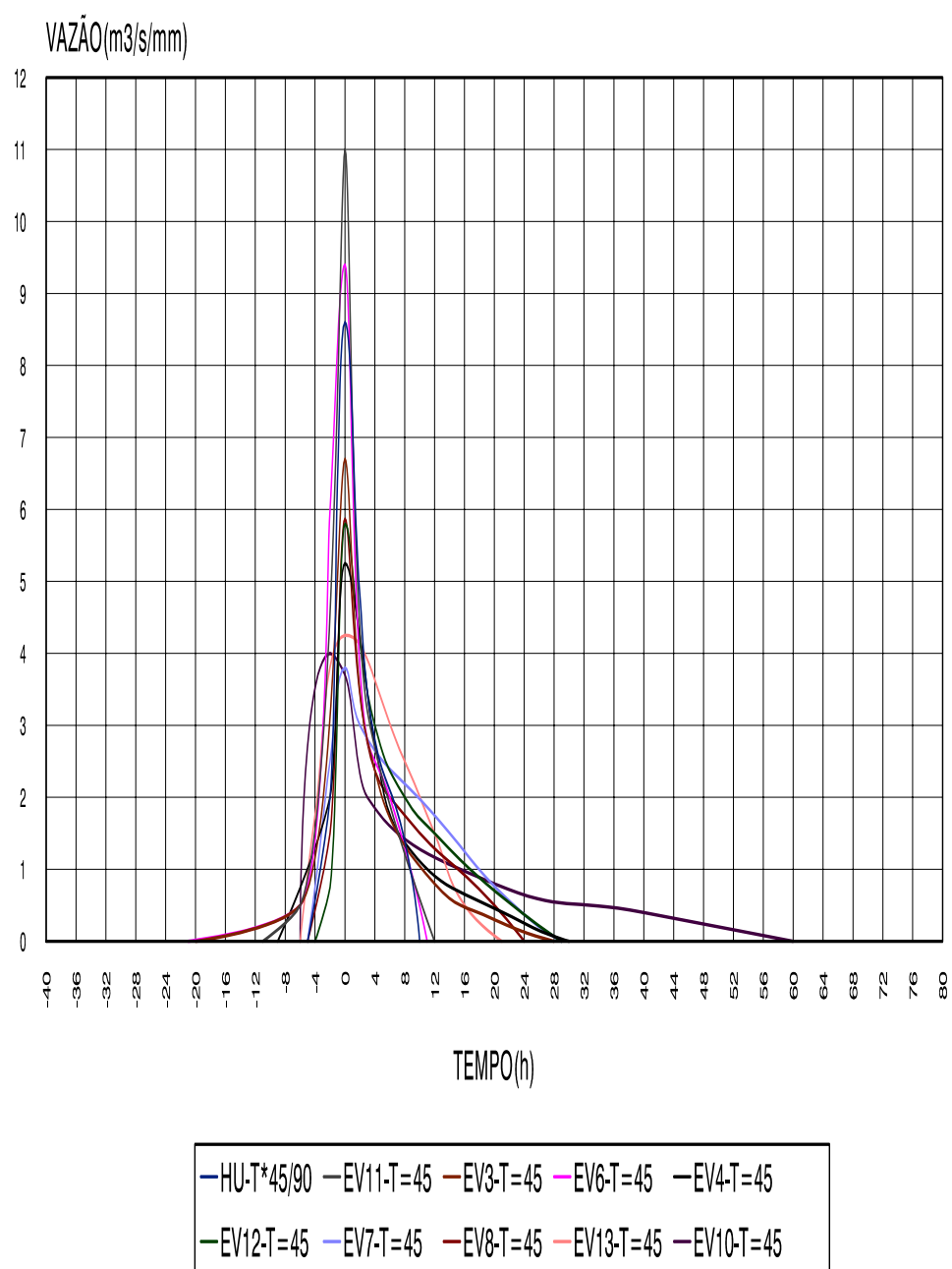


Figura 4.2 - HIDROGRAMAS UNITARIOS COALINHADOS 4B14R - T=45



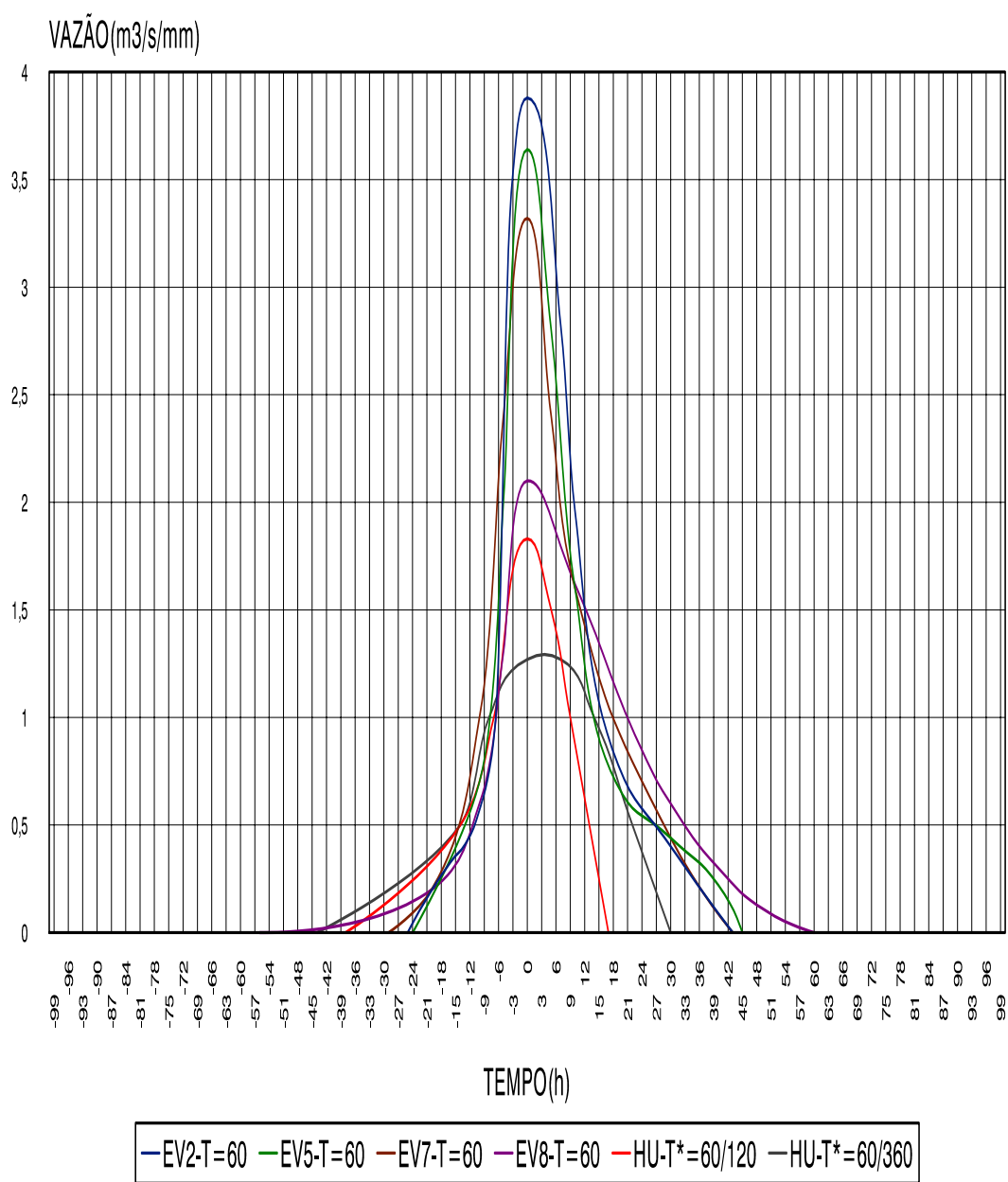


Figura 4.3 - HIDROGRAMAS UNITARIOS COALINHADOS 4B17R -T\*=60

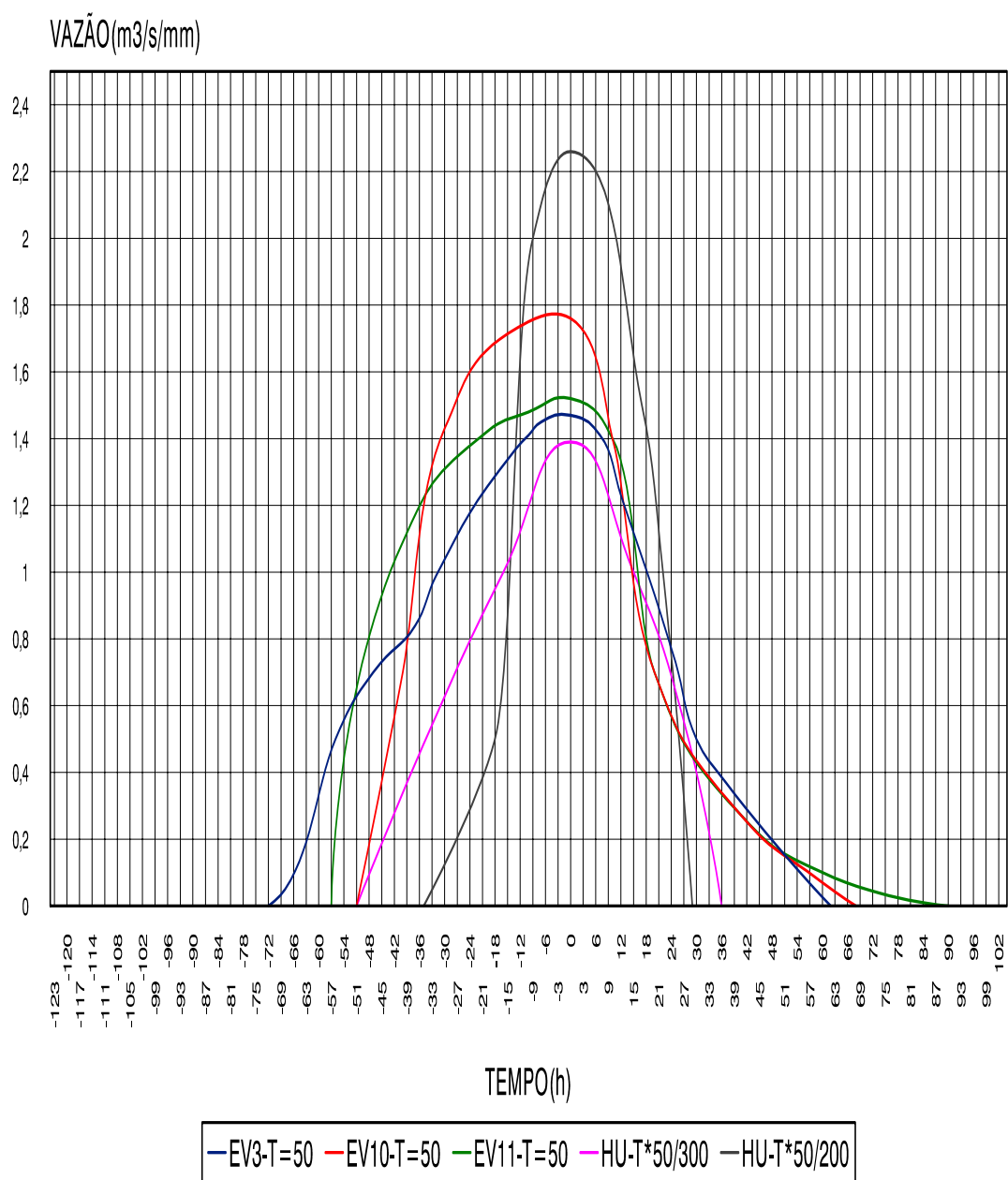


Figura 4.4 - HIDROGRAMAS UNITARIOS COALINHADOS 3C12R - T=50

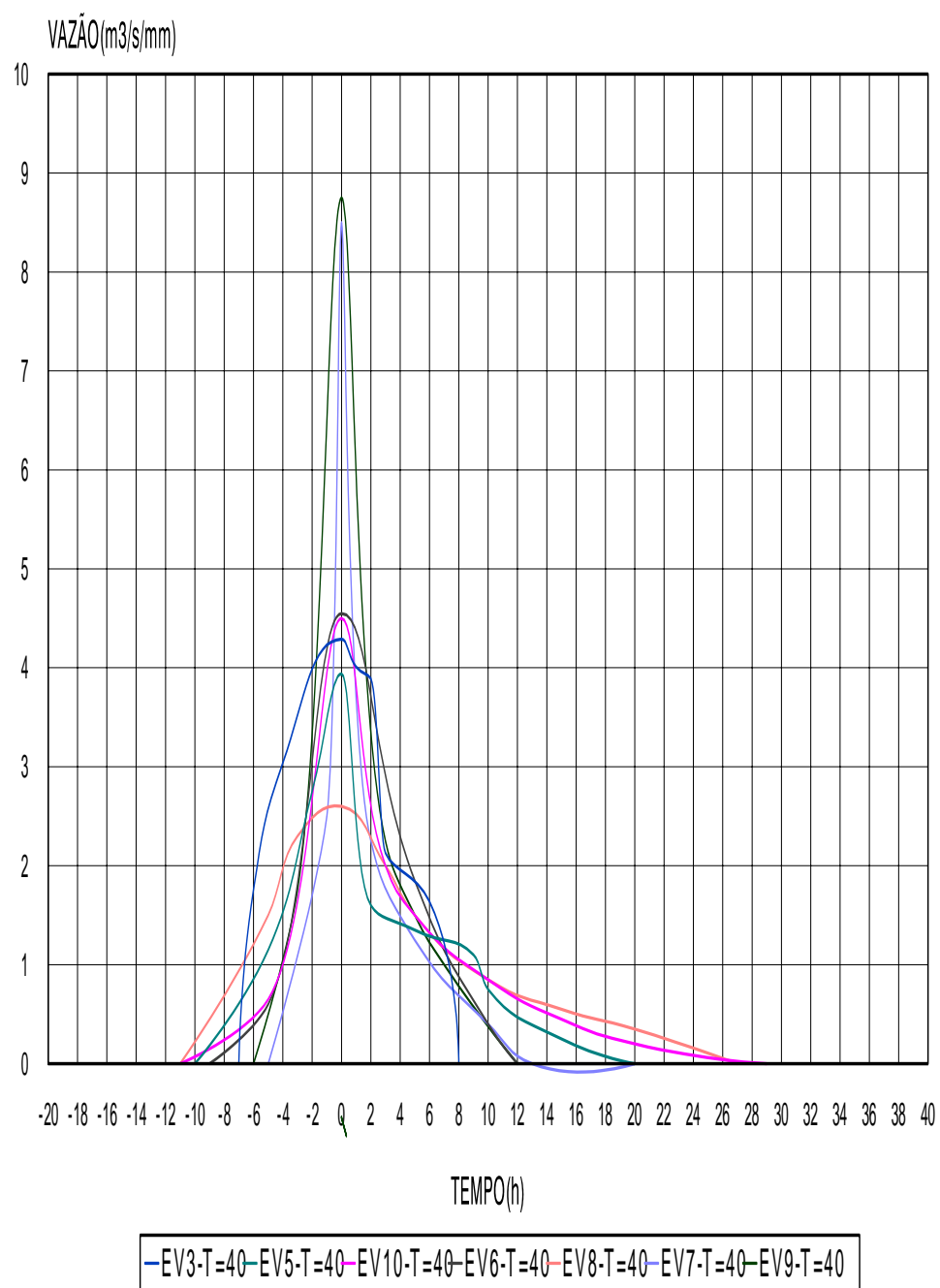


Figura 4.5 - HIDROGRAMAS UNITARIOS COALINHADOS 5C31R - T=40

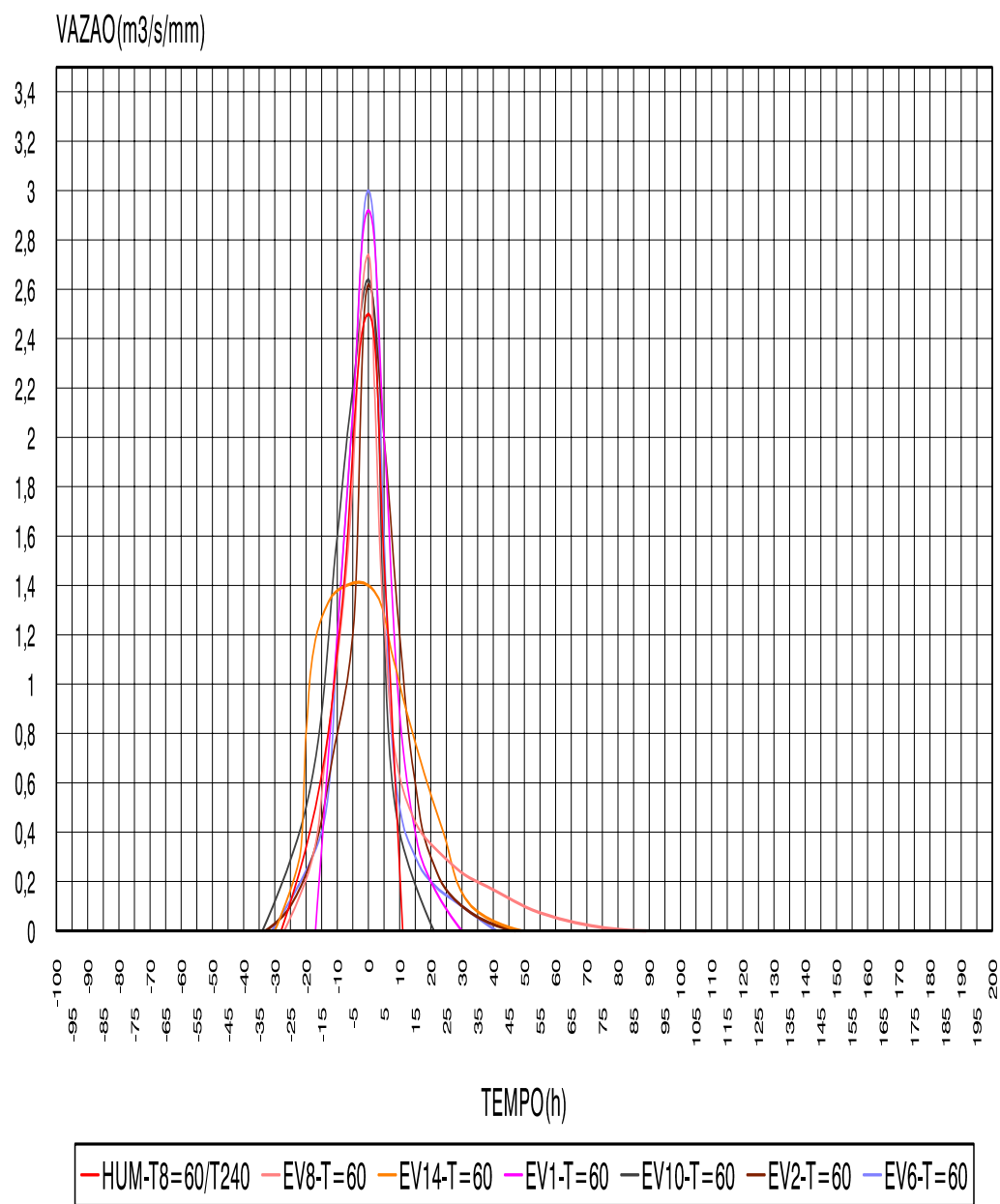


Figura 4.6 - HIDROGRAMAS UNITARIOS COALINHADOS - 8C8R - T=60

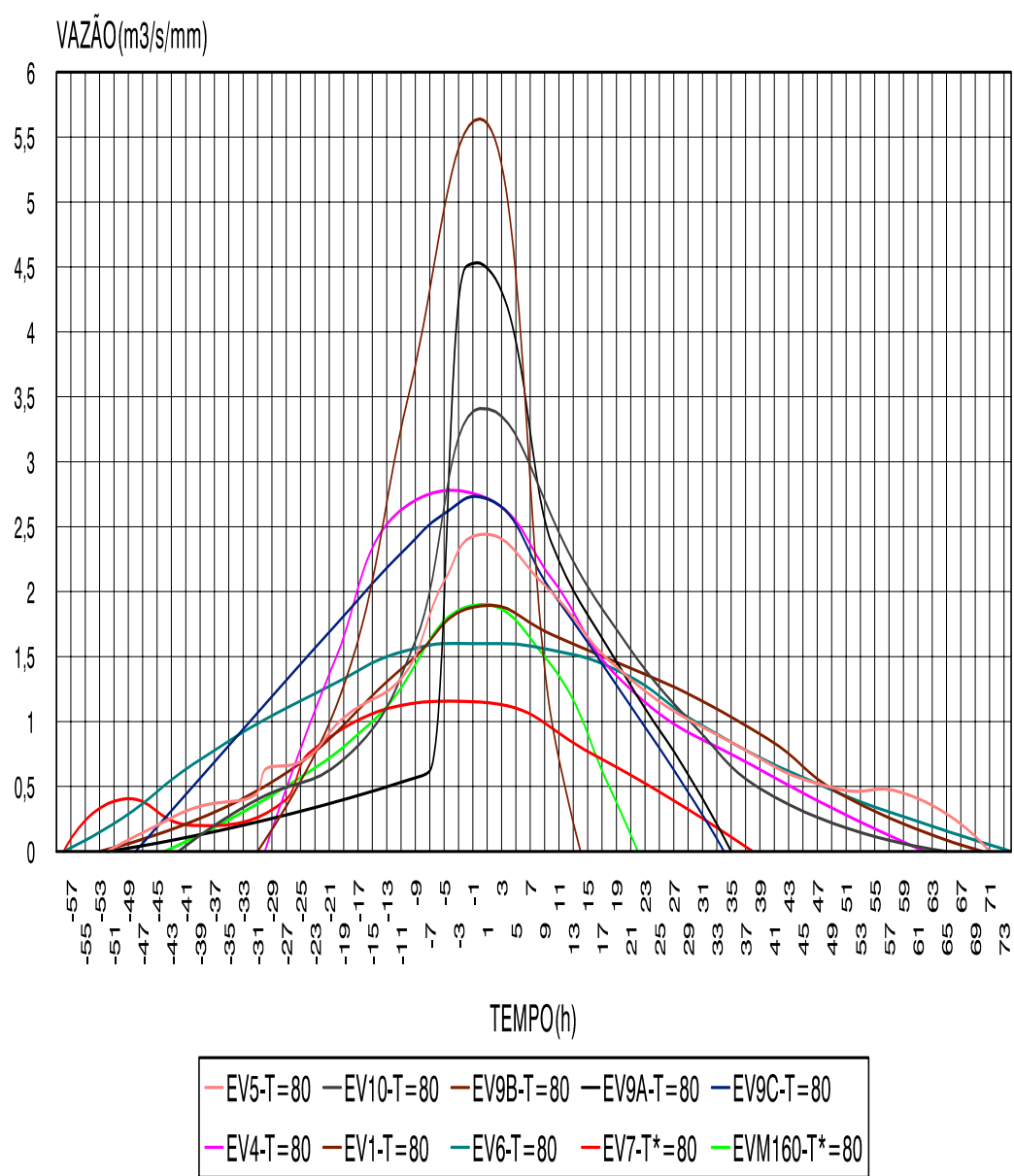


Figura 4.7 - HIDROGRAMAS UNITARIOS COALINHADOS 8C9R -T=80

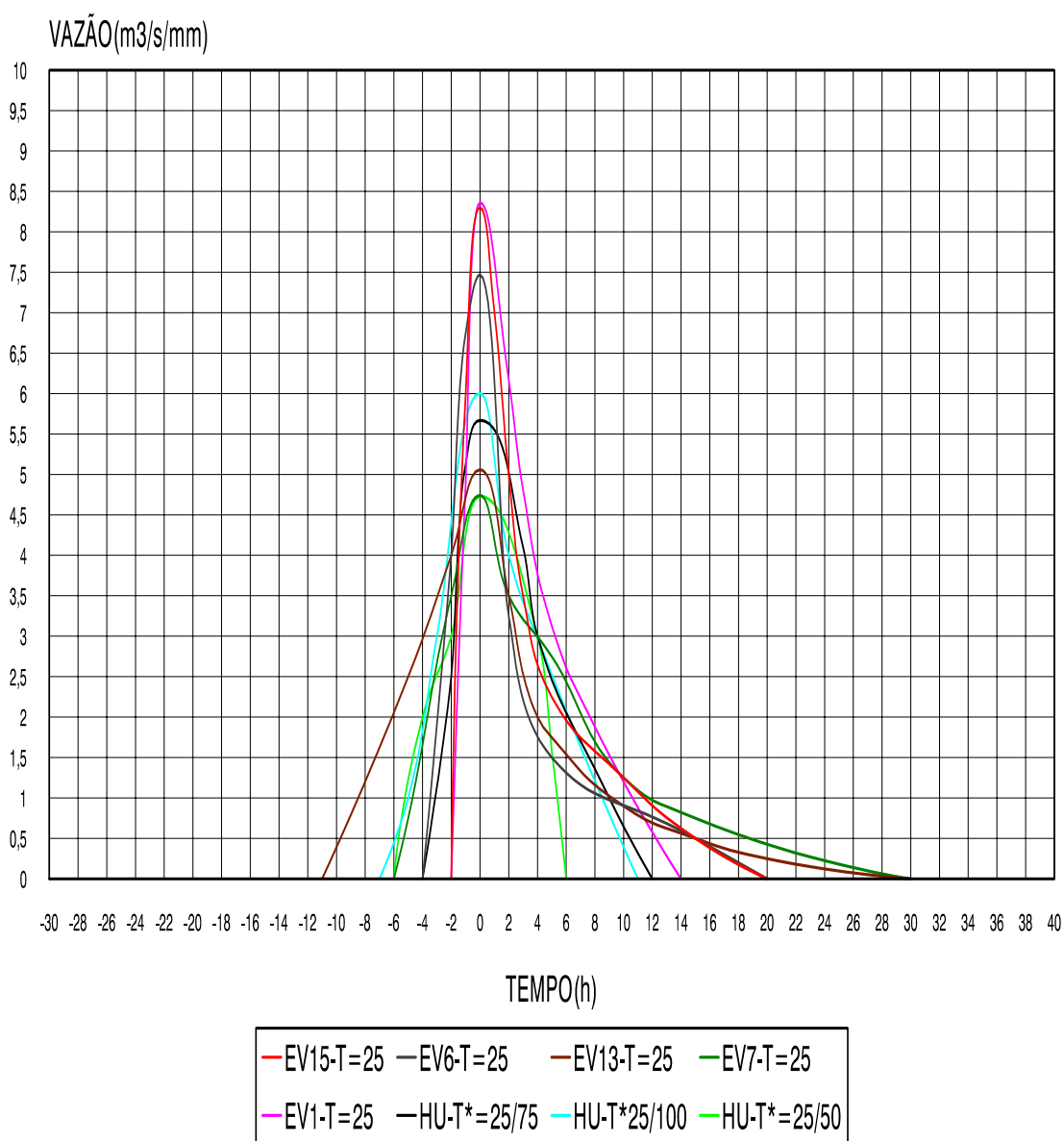


Figura 4.8 - HIDROGRAMAS UNITARIOS COALINHADOS 2D54R - T=25

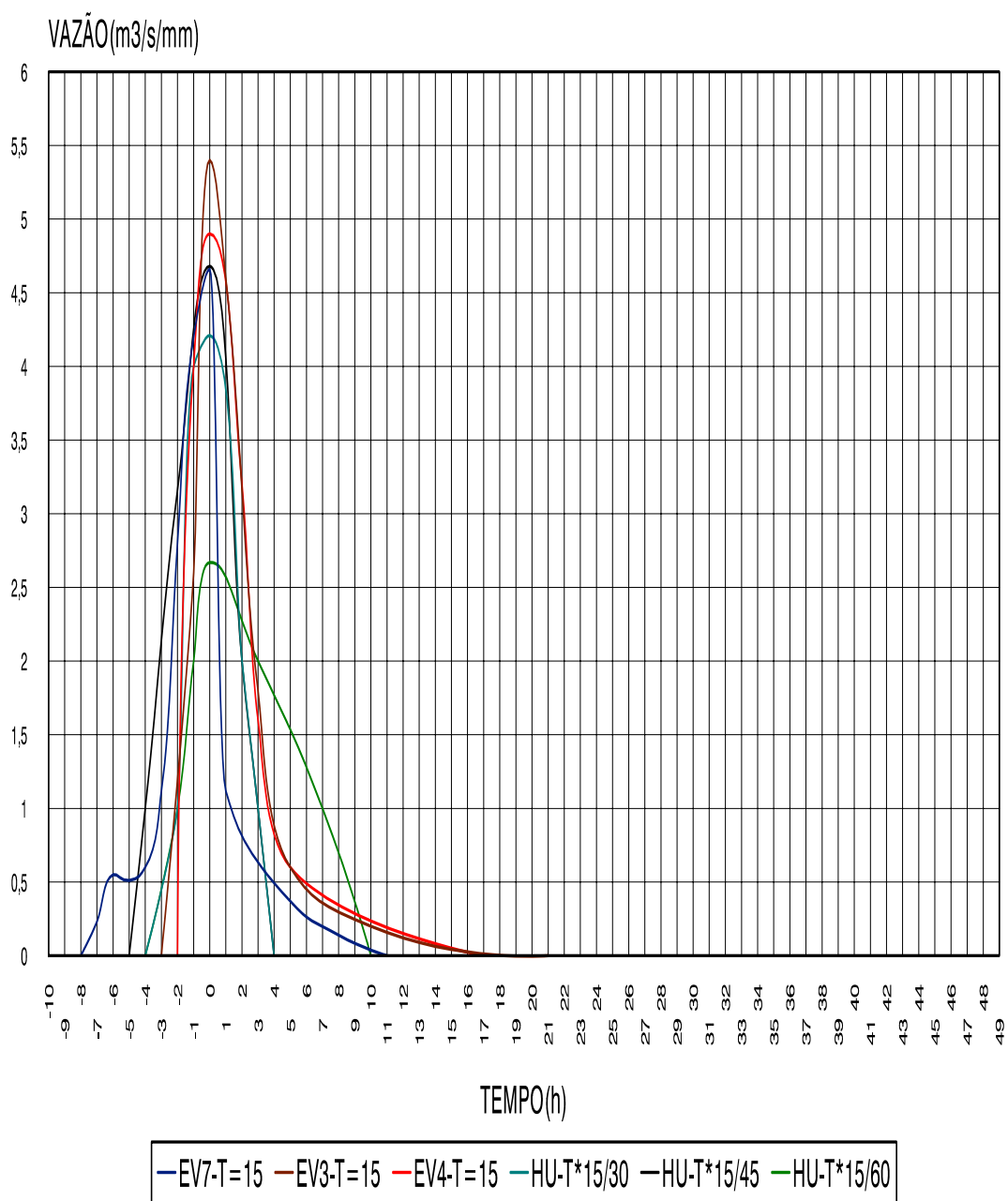


Figura 4.9 - HIDROGRAMAS UNITARIOS COALINHADOS - 2D59R - T=15

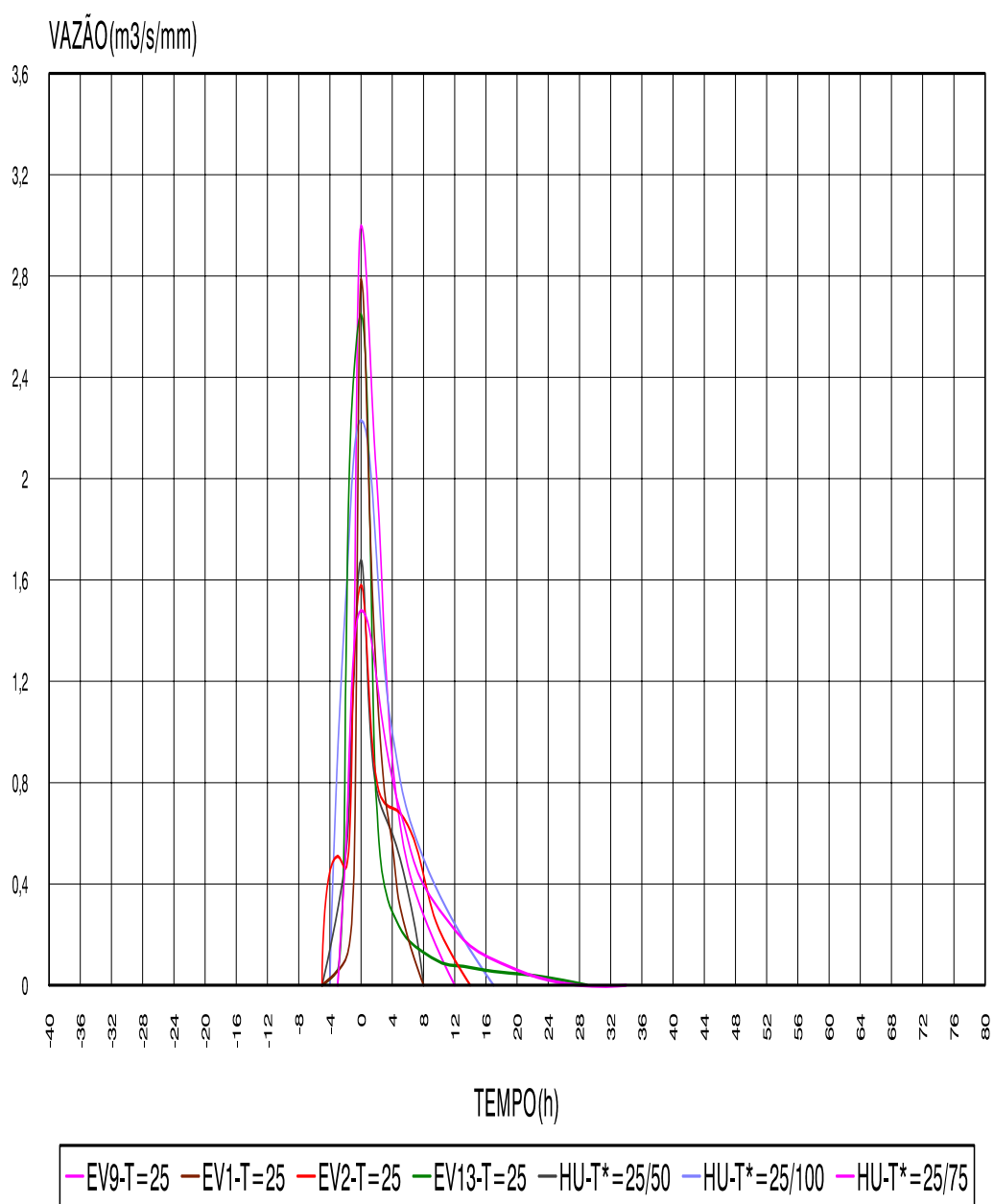


Figura 4.10 - HIDROGRAMAS UNITARIOS COALINHADOS 2D61R - T=25



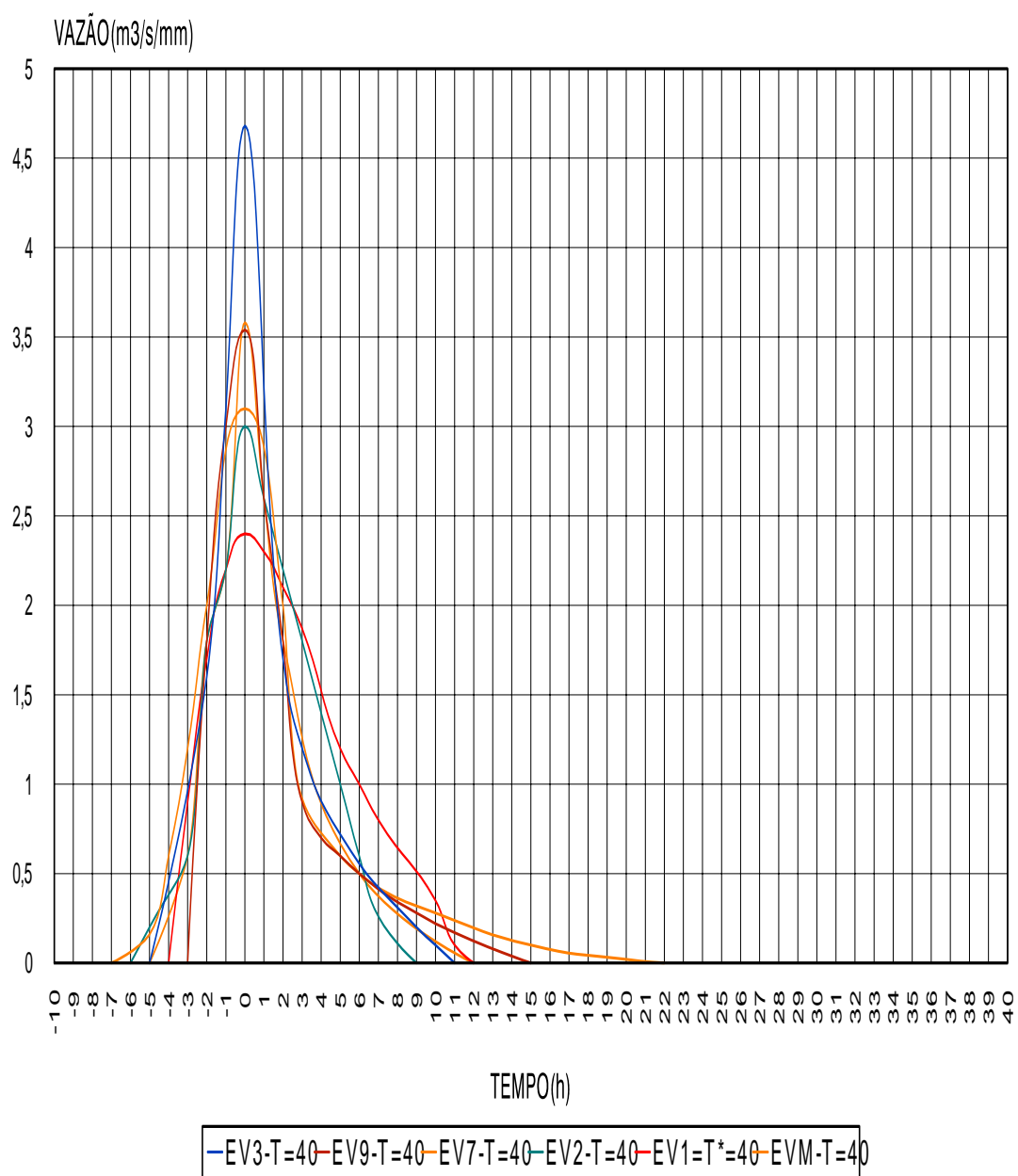


Figura 4.11 - HIDROGRAMAS UNITARIOS COALINHADOS 3E110R - T=40

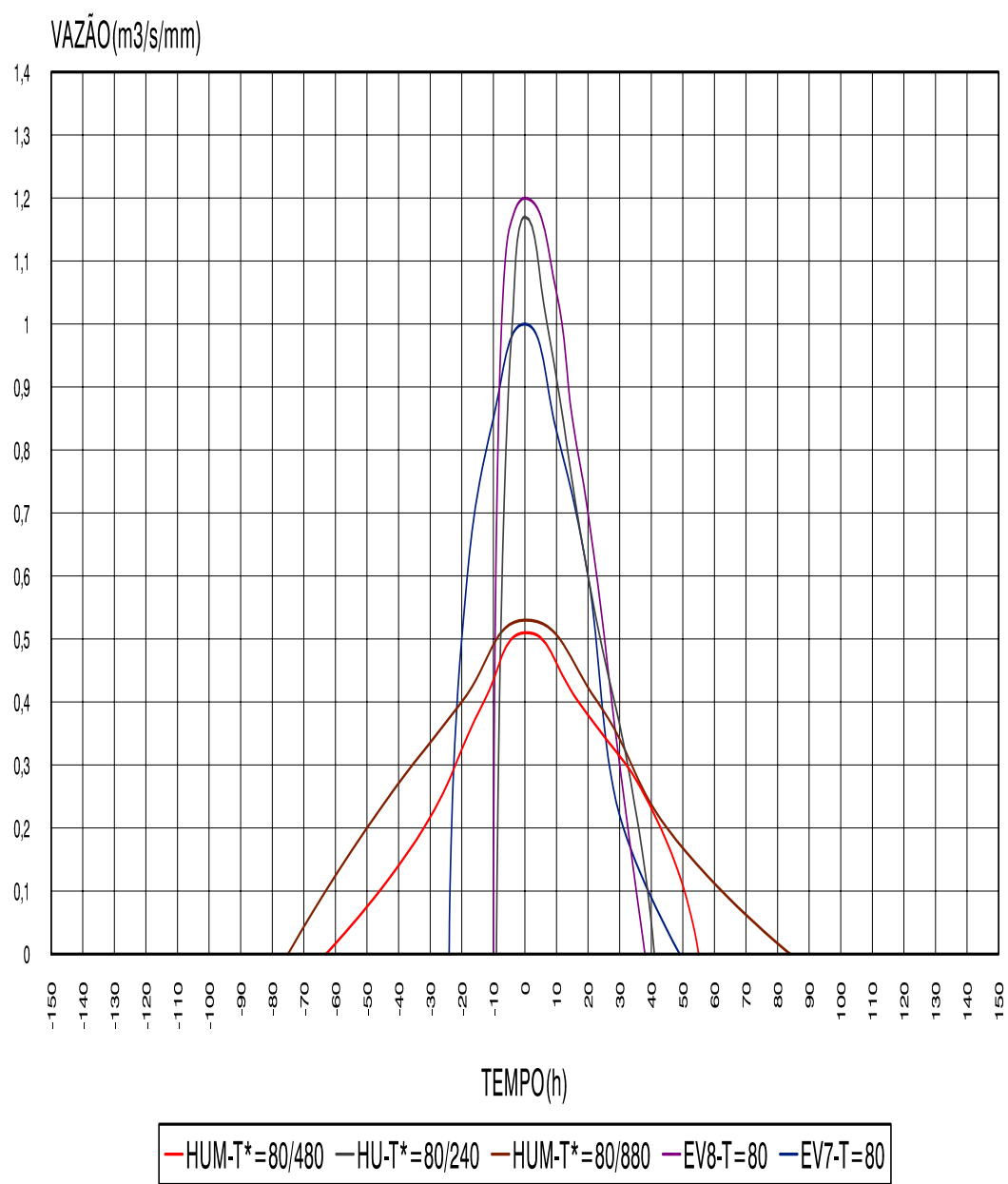


Figura 4.12 - HIDROGRAMAS UNITARIOS COALINHADOS 3E111R - T=80

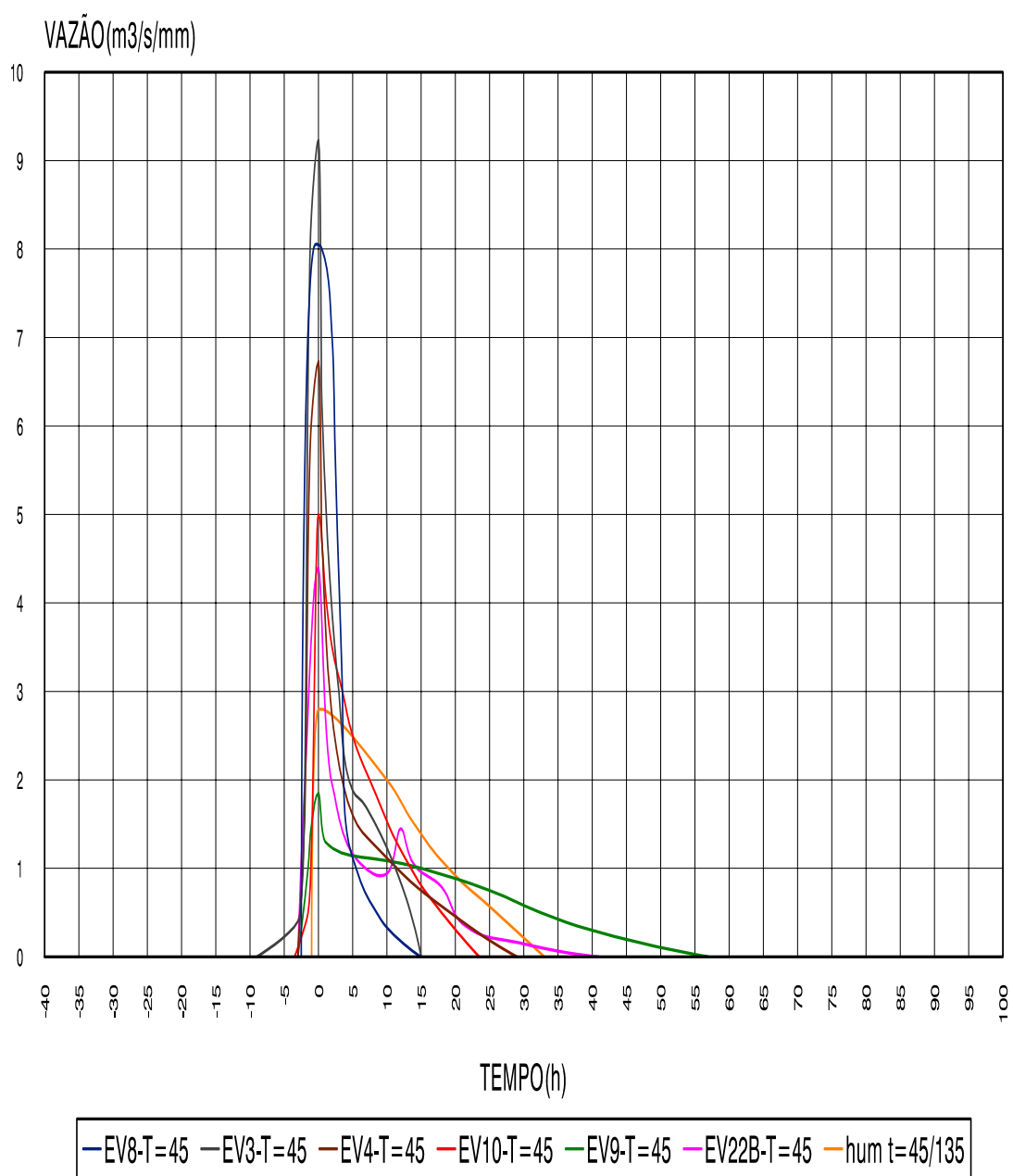


Figura 4.13 - HIDROGRAMAS UNITARIOS COALINHADOS 3E113R - T=45

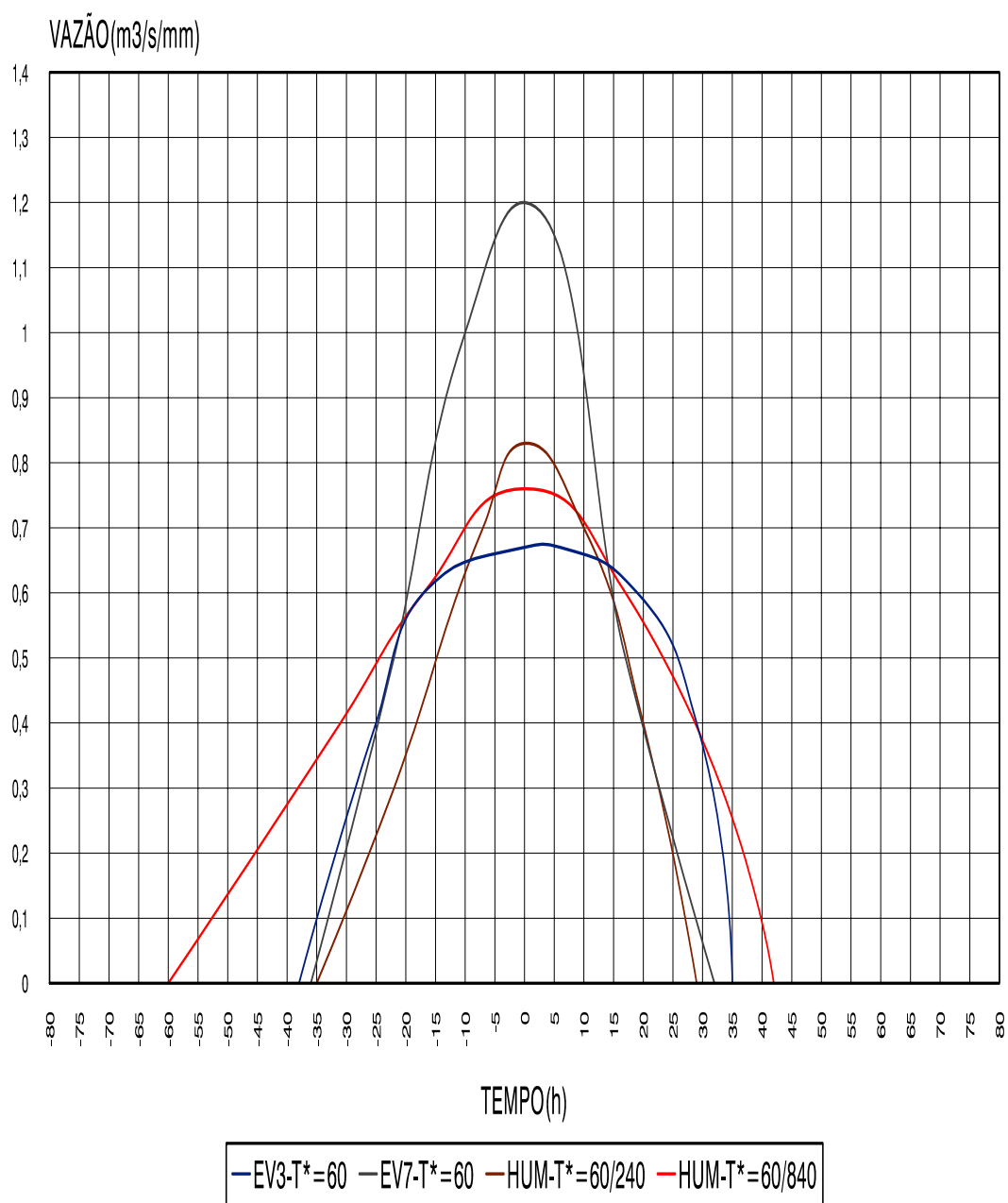


Figura 4.14 - HIDROGRAMAS UNITARIOS COALINHADOS 4E25R - T= 60

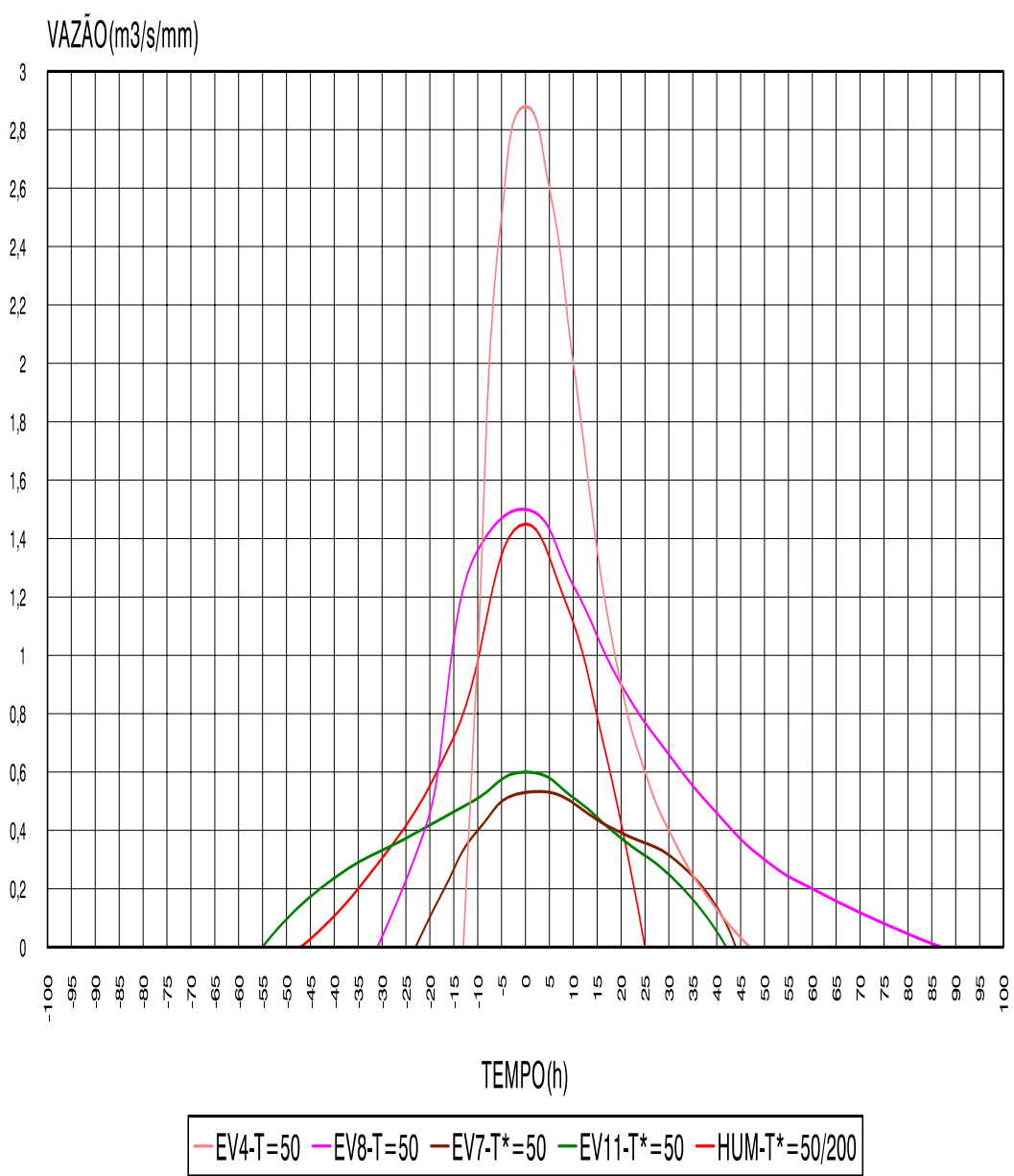


Figura 4.15 - HIDROGRAMAS UNITARIOS COALINHADOS 4F38R - T=50

### 4.3 - Hidrogramas Unitários Médios das Bacias Estudadas e Parâmetros que caracterizam o Hidrograma Unitário : $q_p$ , $t_p$ , $t_b$ , $t_{50}$ e $t_{75}$

Os gráficos dos Hidrogramas Unitários Médios resultantes são apresentados nas figuras 4.16 a 4.19. E na tabela 4.1 estão os parâmetros que caracterizam os hidrogramas unitários médios de cada bacia estudada.

Tabela 4.1 – Valores dos parâmetros que caracterizam os hidrogramas unitários médios

Bacia	$q_p$ (m <sup>3</sup> /s.mm)	$t_p$ (h)	$T_b$ (h)	$t_{50}$ (h)	$t_{75}$ (h)	Duração (h)
4B 13R	6,91	13,00	36,00	6,60	3,30	1,250
4B 14R	6,00	6,00	22,00	5,76	3,60	0,750
4B 17R	2,85	28,00	70,00	18,20	10,30	1,000
3C 12R	1,68	53,00	100,00	53,20	31,80	0,833
5C 31R	6,20	8,00	20,00	3,37	1,87	0,667
8C 8R	2,70	28,00	68,00	13,90	8,48	1,000
8C 9R	2,80	46,80	90,00	35,00	22,50	1,333
2D 54R	6,00	5,00	22,00	5,44	3,22	0,417
2D 59R	4,40	4,00	16,00	3,38	2,00	0,250
2D 61R	2,13	5,00	20,00	3,83	2,17	0,417
3E110R	3,10	5,00	15,00	3,94	2,67	0,667
3E111R	0,88	36,00	89,00	37,90	22,60	1,333
3E113R	6,00	4,00	28,00	3,52	2,53	0,750
4E 25R	0,87	38,00	76,00	43,20	29,20	1,000
4F 38R	1,60	43,00	103,00	36,80	20,40	0,833

## **4.4 - Resultados das Regressões Lineares para Obtenção das Equações do Hidrograma Unitário Sintético Regionalizado**

### **4.4.1 - Dados Utilizados na Regressão**

Os dados utilizados na regressão foram os logaritmos dos parâmetros estudados, na base 10.

A tabela 4.2 mostra os parâmetros utilizados na regressão linear.

Tabela 4.2 - Parâmetros utilizados na Regressão

<b>bacias</b>	<b>log qp</b>	<b>log tp</b>	<b>log tb</b>	<b>log t50</b>	<b>log t75</b>	<b>log A</b>	<b>log L</b>	<b>log Sh</b>
4B13	0.839480	1.11394	1.36173	0.81954	0.51851	2.41330	1.68753	-2.21467
4B14	0.778151	0.77815	1.34242	0.76042	0.55630	2.25042	1.46090	-2.08092
4B17	0.454845	1.44716	1.84510	1.26007	1.01284	2.42160	1.60531	-2.30980
3C12	0.225309	1.72428	2.00000	1.72591	1.50243	2.53908	1.57749	-2.43180
5C31	0.792392	0.90309	1.30103	0.52763	0.27184	2.15229	1.27875	-2.18046
8C8	0.431364	1.44716	1.83251	1.14301	0.92840	2.26482	1.51055	-2.50864
8C9	0.447158	1.67025	1.95424	1.54407	1.35218	2.59988	1.57519	-2.55284
2D54	0.778151	0.69897	1.34242	0.73560	0.50786	2.20683	1.43457	-1.75449
2D59	0.643453	0.60206	1.20412	0.52892	0.30103	1.82607	1.15836	-1.73755
2D61	0.328380	0.69897	1.30103	0.58320	0.33646	1.57978	1.25768	-2.24413
3 E110	0.491362	0.69897	1.17609	0.59550	0.42651	1.81954	1.20683	-2.49485
3 E111	-0.055517	1.55630	1.94939	1.57864	1.35411	2.11193	1.43136	-3.18046
3 E113	0.778150	0.60206	1.44716	0.54654	0.40312	2.13033	1.43457	-2.18046
4 E25	-0.060481	1.57978	1.88081	1.63849	1.46538	2.11394	1.37291	-2.79588
4F38	0.204120	1.63347	2.01284	1.56585	1.30963	2.43136	1.62839	-2.61979

<b>bacias</b>	<b>log Si</b>	<b>log tc</b>	<b>Log If</b>	<b>Log Ic</b>	<b>Log Ct</b>	<b>Log Cp</b>	<b>Log t'pl</b>	<b>log P</b>
4B13	-2.20761	0.929420	-0.96176	0.1959	0.2730	0.07460	1.08368	1.95904
4B14	-2.06048	0.690196	-0.67140	0.2279	0.1368	-0.16840	0.74482	1.91116
4B17	-2.31876	0.857332	-0.78900	0.1173	0.6406	0.01560	1.42325	1.89487
3C12	-2.35655	0.740363	-0.61590	0.2014	1.0057	-0.05220	1.70244	2.02325
5C31	-2.22915	0.623249	-0.40520	0.1271	0.3222	0.73400	0.87418	1.74624
8C8	-2.58503	0.875061	-0.75630	0.1903	0.7259	0.14890	1.42325	1.87506
8C9	-2.56864	0.944483	-0.55050	0.1139	0.9374	0.05350	1.67090	1.97635
2D54	-1.48280	0.431364	-0.66230	0.1703	0.0646	-0.19950	0.67006	1.82607
2D59	-1.46852	0.176091	-0.49070	0.1004	0.0993	-0.04820	0.57535	1.56585
2D61	-2.06550	0.431364	-0.93560	0.2201	0.1113	-0.02230	0.67006	1.56229
3 E110	-2.53760	0.681241	-0.59410	0.1644	0.1488	-0.10430	0.66475	1.62839
3 E111	-3.13077	0.939519	-0.75080	0.2355	0.9386	-0.07610	1.53225	1.84510
3 E113	-2.38722	0.698970	-0.73880	0.2279	-0.0882	-0.02311	0.56202	1.85673
4 E25	-2.88606	0.832509	-0.63188	0.1523	0.9456	-0.05850	1.55685	1.78176
4F38	-2.14874	0.740363	-0.82540	0.2355	0.8364	-0.05690	1.61126	2.00346



# HIDROGRAMAS UNITÁRIOS MÉDIOS

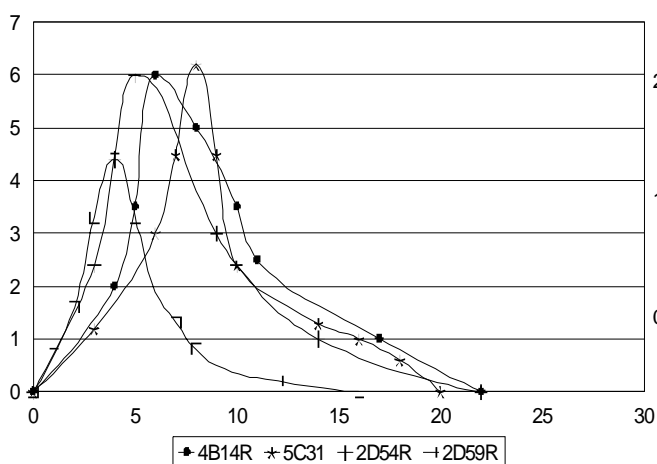


Figura 4.16 - Hidrogramas unitários médios - 4B14R/5C31/2D54R/2D59R

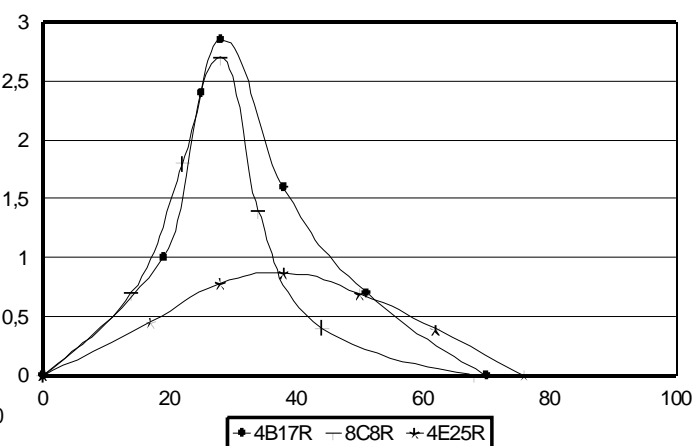


Figura 4.17 - Hidrogramas unitários médios - 4B17R/8C8R/4E25R

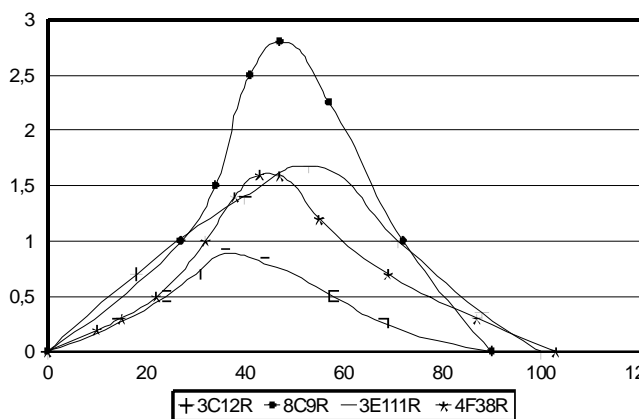


Figura 4.18 - Hidrogramas unitários médios - 3C12R/8C9R/3E111R/4F38R

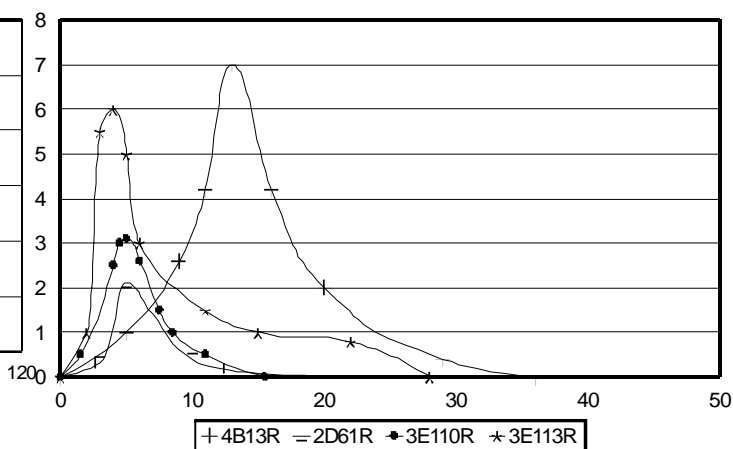


Figura 4.19 - Hidrogramas unitários médios - 4B13R/2D61R/3E110R/3E113R

## 4.4.2- Regressões Lineares

A partir destes dados, obteve-se um modelo de regressão para as seguintes variáveis :  $\log t_p$ ,  $\log q_p$ ,  $\log t_{50}$ ,  $\log t_{75}$ .

O critério para escolha das variáveis que estariam em cada modelo de regressão é feito utilizando-se a Matriz de Correlação apresentado na tabela 4.3, considerando-se que quando duas variáveis estão altamente correlacionadas não existe necessidade de ambas constarem no mesmo modelo como variáveis regressoras (parcimônia).

Os resultados das regressões estão nas tabelas 4.4 a 4.8 :

Tabela 4.3 - Matriz de correlação de Pearson

	$\log q_p$	$\log t_p$	$\log t_b$	$\log t_{50}$	$\log t_{75}$	$\log A$	$\log L$	$\log Sh$	
$\log t_p$	-0.691								
$\log t_b$	-0.716	0.951							
$\log t_{50}$	-0.777	0.960	0.957						
$\log t_{75}$	-0.785	0.945	0.955	0.996					
$\log A$	0.006	0.683	0.649	0.618	0.600				
$\log L$	-0.055	0.645	0.632	0.581	0.551	0.879			
$\log Sh$	0.819	-0.721	-0.704	-0.723	-0.734	-0.186	-0.246		
$\log S1$	0.642	-0.601	-0.581	-0.575	-0.600	-0.180	-0.201	0.925	
$\log t_c$	-0.337	0.716	0.654	0.628	0.628	0.641	0.698	-0.730	
$\log D$	-0.341	0.727	0.664	0.644	0.642	0.658	0.702	-0.736	
$\log If$	0.126	-0.098	-0.131	-0.083	-0.052	-0.004	-0.481	0.174	
$\log Ic$	-0.184	0.017	0.127	0.095	0.095	-0.034	0.263	-0.302	
$\log Ct$	-0.774	0.979	0.930	0.959	0.950	0.570	0.485	-0.759	
$\log Cp$	0.248	0.022	-0.098	-0.200	-0.226	0.071	-0.109	0.022	
$\log t_{pl}$	-0.689	1.000	0.951	0.960	0.945	0.683	0.643	-0.718	
$\log P$	-0.066	0.666	0.673	0.634	0.619	0.949	0.931	-0.285	
$\log Lg$	-0.031	0.547	0.515	0.420	0.386	0.683	0.876	-0.192	
	$\log S1$	$\log t_c$	$\log D$	$\log If$	$\log Ic$	$\log Ct$	$\log Cp$	$\log t_{pl}$	$\log P$
$\log t_c$	-0.802								
$\log D$	-0.799	0.996							
$\log If$	0.091	-0.284	-0.262						
$\log Ic$	-0.212	0.203	0.207	-0.614					
$\log Ct$	-0.630	0.637	0.651	0.030	-0.031				
$\log Cp$	-0.095	0.089	0.104	0.359	-0.344	0.032			
$\log t_{pl}$	-0.598	0.713	0.724	-0.093	0.009	0.980	0.023		
$\log P$	-0.256	0.693	0.710	-0.208	0.280	0.542	-0.063	0.664	
$\log Lg$	-0.169	0.616	0.599	-0.580	0.107	0.372	0.044	0.544	0.698

Tabela 4.4 – Regressão Linear de tp

The regression equation is

$$\log tp = -5.56 + 0.673 \log A + 1.64 \log L - 2.94 \log Ic - 1.36 \log Sh - 1.62 \log D$$

Predictor	Coef	Stdev	t-ratio	p
Constant	-5.5594	0.8678	-6.41	0.000
log A	0.6729	0.3073	2.19	0.056
log L	1.6423	0.5949	2.76	0.022
log Ic	-2.9420	0.9356	-3.14	0.012
log Sh	-1.3584	0.1741	-7.80	0.000
log D	-1.6186	0.4215	-3.84	0.004

s = 0.1247    R-sq = 95.0%    R-sq(adj) = 92.1%

#### Analysis of Variance

SOURCE	DF	SS	MS	F	p
Regression	5	2.63136	0.52627	33.85	0.000
Error	9	0.13993	0.01555		
Total	14	2.77129			

SOURCE	DF	SEQ SS
log A	1	1.29153
log L	1	0.02536
log Ic	1	0.00147
log Sh	1	1.08369
log D	1	0.22931

em que :

$p$  = Valor –  $p$ , usado em testes de hipóteses para ajudar a decidir se rejeita ou não rejeita a hipótese nula. O valor- $p$  é a probabilidade de se obter uma estatística de teste que é no mínimo tão grande quanto o valor real calculado, se a hipótese nula for verdadeira. Isto é, o valor- $p$  representa a probabilidade de se cometer um erro Tipo I, ou rejeitar a hipótese nula quando ela é verdadeira. Quanto menor o valor- $p$ , menor é a probabilidade de que se esteja cometendo um erro rejeitando a hipótese nula. Um ponto de corte normalmente usado para o valor- $p$  é 0,05. Por exemplo, se o valor- $p$  calculado é menor que 0,05, você rejeita a hipótese nula.

$s$  = Uma estimativa para o desvio padrão estimado do erro no modelo. Observe que  $S^2$  é o Quadrado Médio do Erro (MS Erro).

$R\text{-sq} = R^2$ . Coeficiente de determinação; indica quanto da variação da resposta é explicada pelo modelo. Quanto maior  $R^2$ , melhor o modelo ajusta seus dados.

A fórmula é:

$$1 - \frac{SS_{\text{Erro}}}{SS_{\text{Total}}}$$

Outra apresentação da mesma fórmula é:

$$\frac{SS_{\text{Regressão}}}{SS_{\text{Total}}}$$

$R^2$  também pode ser calculado como a correlação  $(Y, \hat{Y})^2$

$R\text{-sq (adj)} = R^2$  Ajustado, considera o número de preditores no modelo; útil para comparação de modelos com diferentes números de preditores.

A fórmula é:

$$1 - \frac{MS_{\text{Erro}}}{SS_{\text{Total}}/DFT_{\text{Total}}}$$

DF = Graus de liberdade, indica o número de pedaços de informações independentes envolvendo a resposta dos dados necessários para calcular a soma de quadrados. Os graus de liberdade para cada componente do modelo são:

DF Regressão = p;

DF Erro = n – p – 1;

Total = n - 1

onde n = número de observações e p = número de preditores.

SS = Soma de quadrados é a soma do quadrado das distâncias. SS Total (Soma de Quadrados Total) é a variação total dos dados. SS Regressão (Soma de Quadrados da Regressão) é a porção da variância explicada pelo modelo, enquanto SS Erro (Soma de Quadrados do Erro) é a porção não explicada pelo modelo e atribuída ao erro.

As equações são:

$$SS_{\text{Regressão}} = \sum (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2$$

$$SS_{\text{Erro}} = \sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2$$

SS Total = SS Regressão + SS Erro

onde Y = resposta observada,  $\hat{Y}$  = resposta ajustada, e  $\bar{Y}$  = resposta média.

MS Regression = QM Regressão é o quadrado médio da regressão ou MSR.

A fórmula é:

SS Regressão

DF Regressão

MS Error = MS Erro, é o quadrado médio do erro ou MSE, que é a variância em torno da linha de regressão ajustada. MS Erro =  $s^2$ .

A fórmula é:

$$\frac{SS \text{ Erro}}{DF \text{ Erro}}$$

F = Se o valor F calculado é maior que o valor F tabelado da distribuição F, então no mínimo um dos coeficientes não é igual a zero. O valor F é usado para determinar o valor-p. A fórmula para o valor F calculado é:

$$\frac{MS \text{ Regressão}}{MS \text{ Erro}}$$

Seq SS= Soma de quadrados seqüenciais. O Minitab calcula a soma de quadrados sequenciais para cada preditor. O resultado depende da ordem em que os preditores são inseridos no modelo. A soma de quadrados sequenciais é a única porção da soma de quadrados da regressão explicada por um preditor, dado qualquer preditor previamente inserido no modelo. Se tem um modelo com três preditores, X1, X2 e X3, a soma de quadrados sequenciais para X3 mostra o quanto da variação restante é explicada por X3, dado que X1 e X2 já estão no modelo. Para obter uma sequência diferente de preditores, repete-se o procedimento de regressão entrando com os preditores em uma ordem diferente.

Na tabela 4.4 o modelo de regressão é significativo, pois ( $p = 0,000$ ) é menor que 0,005. Portanto o valor-p mostra que o modelo ajustado é significativo ao nível de significância de 0,005, logo o modelo obtido pode ser aceito.

R-sq que é o coeficiente de determinação da equação é de 95,0% e o valor de R-Sq (adj), que representa a proporção da variação na resposta explicada pelo modelo, é de 92,1%, o que mostra que a equação esta bem ajustada, pois ambos são superiores a 90%.

Tabela 4.5 – Regressão Linear de qp

The regression equation is

$$\log qp = 3.23 - 0.446 \log tb + 0.816 \log Sh + 1.07 \log D$$

Predictor	Coef	Stdev	t-ratio	p
Constant	3.2300	0.2532	12.76	0.000
log tb	-0.4462	0.1091	-4.09	0.002
log Sh	0.8161	0.1058	7.71	0.000
log D	1.0650	0.1828	5.83	0.000

s = 0.09040    R-sq = 92.9%    R-sq(adj) = 91.0%

Analysis of Variance

SOURCE	DF	SS	MS	F	p
Regression	3	1.17636	0.39212	47.98	0.000
Error	11	0.08990	0.00817		
Total	14	1.26626			

SOURCE	DF	SEQ SS
log tb	1	0.64938
log Sh	1	0.24955
log D	1	0.27743

Na tabela 4.5 o modelo de regressão é significativo, pois ( $p = 0,000$ ) é menor que 0,005. Portanto o valor-p mostra que o modelo ajustado é significativo ao nível de significância de 0,005, logo o modelo obtido pode ser aceito.

R-sq que é o coeficiente de determinação da equação é de 92,9% e o valor de R-Sq (adj), que representa a proporção da variação na resposta explicada pelo modelo,

é de 91,0%, o que mostra que a equação esta bem ajustada, pois ambos são superiores a 90%.

Tabela 4.6 – Regressão Linear de tb

The regression equation is

$$\log tb = -1.31 + 0.548 \log tp - 0.578 \log S1 + 1.38 \log L - 1.47 \log tc$$

Predictor	Coef	Stdev	t-ratio	p
Constant	-1.3052	0.7195	-1.81	0.100
log tp	0.54809	0.09614	5.70	0.000
log S1	-0.5784	0.1981	-2.92	0.015
log L	1.3775	0.4743	2.90	0.016
log tc	-1.4702	0.4884	-3.01	0.013

s = 0.08599    R-sq = 95.1%    R-sq(adj) = 93.1%

#### Analysis of Variance

SOURCE	DF	SS	MS	F	p
Regression	4	1.42490	0.35622	48.18	0.000
Error	10	0.07394	0.00739		
Total	14	1.49884			

SOURCE	DF	SEQ SS
log tp	1	1.35657
log S1	1	0.00018
log L	1	0.00115
log tc	1	0.06700



Na tabela 4.6 o modelo de regressão é significativo, pois ( $p = 0,000$ ) é menor que 0,005. Portanto o valor-p mostra que o modelo ajustado é significativo ao nível de significância de 0,005, logo o modelo obtido pode ser aceito.

R-sq que é o coeficiente de determinação da equação é de 95,1% e o valor de R-Sq (adj), que representa a proporção da variação na resposta explicada pelo modelo, é de 93,1%, o que mostra que a equação esta bem ajustada, pois ambos são superiores a 90%.

Tabela 4.7 – Regressão Linear de t50

The regression equation is

$$\log t50 = -0.337 - 1.36 \log qp + 1.07 \log A + 0.140 \log Sh$$

Predictor	Coef	Stdev	t-ratio	p
Constant	-0.3368	0.1523	-2.21	0.049
log qp	-1.36333	0.06655	-20.49	0.000
log A	1.07058	0.04127	25.94	0.000
log Sh	0.13964	0.05464	2.56	0.027

s = 0.04118    R-sq = 99.4%    R-sq(adj) = 99.2%

Analysis of Variance

SOURCE	DF	SS	MS	F	p
Regression	3	3.0825	1.0275	605.78	0.000
Error	11	0.0187	0.0017		
Total	14	3.1012			
SOURCE	DF	SEQ SS			
log qp	1	1.8706			
log A	1	1.2009			
log Sh	1	0.0111			

Na tabela 4.7 o modelo de regressão é significativo, pois ( $p = 0,000$ ) é menor que 0,005. Portanto o valor-p mostra que o modelo ajustado é significativo ao nível de significância de 0,005, logo o modelo obtido pode ser aceito.

R-sq que é o coeficiente de determinação da equação é de 99,4% e o valor de R-Sq (adj), que representa a proporção da variação na resposta explicada pelo modelo,

é de 99,2%, o que mostra que a equação esta bem ajustada, pois ambos são superiores a 90%.

Tabela 4.8 – Regressão Linear de t75

The regression equation is

$$\log t75 = 1.40 - 1.32 \log qp + 0.555 \log tb + 0.921 \log P + 0.777 \log Sh \\ + 1.08 \log D - 0.520 \log Lg$$

Predictor	Coef	Stdev	t-ratio	p
Constant	1.404	1.304	1.08	0.313
log qp	-1.3210	0.3258	-4.05	0.004
log tb	0.5551	0.2587	2.15	0.064
log P	0.9207	0.4382	2.10	0.069
log Sh	0.7768	0.3036	2.56	0.034
log D	1.0756	0.4623	2.33	0.048
log Lg	-0.5199	0.2171	-2.39	0.044

s = 0.09199    R-sq = 97.8%    R-sq(adj) = 96.2%

#### Analysis of Variance

SOURCE	DF	SS	MS	F	p
Regression	6	3.06161	0.51027	60.29	0.000
Error	8	0.06770	0.00846		
Total	14	3.12931			

SOURCE	DF	SEQ SS
log qp	1	1.93015
log tb	1	0.99019
log P	1	0.06503
log Sh	1	0.01131
log D	1	0.01639
log Lg	1	0.04854

Na tabela 4.8 o modelo de regressão é significativo, pois ( $p = 0,000$ ) é menor que 0,005. Portanto o valor-p mostra que o modelo ajustado é significativo ao nível de significância de 0,005, logo o modelo obtido pode ser aceito.

R-sq que é o coeficiente de determinação da equação é de 97,8% e o valor de R-Sq (adj), que representa a proporção da variação na resposta explicada pelo modelo, é de 96,2%, o que mostra que a equação esta bem ajustada, pois ambos são superiores a 90%.

Portanto as equações para o Hidrograma Unitário Sintético Regionalizado são:

$$t_p = 2,7 \times 10^{-6} \cdot A^{0,673} \cdot L^{1,64} \cdot I_c^{-2,94} \cdot S_H^{-1,36} \cdot D^{1,62} \quad (R^2=0,95) \quad (4.1)$$

$$q_p = 1.698,24 \cdot t_b^{-0,446} \cdot S_H^{0,816} \cdot D^{1,07} \quad (R^2=0,93) \quad (4.2)$$

$$t_b = 0,049 \cdot t_p^{0,548} \cdot S_i^{-0,578} \cdot L^{1,38} \cdot t_c^{-1,47} \quad (R^2=0,95) \quad (4.3)$$

$$t_{50} = 0,4602 \cdot q_p^{-1,36} \cdot A^{1,07} \cdot S_H^{0,14} \quad (R^2=0,99) \quad (4.4)$$

$$t_{75} = 25,119 \cdot q_p^{-1,32} \cdot t_b^{0,555} \cdot P^{0,921} \cdot S_H^{0,777} \cdot D^{1,081} \cdot L_g^{-0,52} \quad (R^2=0,98) \quad (4.5)$$

Nas tabelas 4.9 e 4.10, são comparados os parâmetros dos hidrogramas unitários observados (denominados “observados”), com os hidrogramas unitários sintéticos regionalizados (denominados “calculados”) e que foram obtidos com as equações (4.1) a (4.5) e com os hidrogramas unitários sintéticos de Snyder com os Ct e Cp coeficientes regionalizados (denominados de “Snyder”) e Ct e Cp obtidos com as equações (4.6) e (4.7).

Tabela 4.9 – Comparação entre os parâmetros dos hidrogramas unitários Calculados, Observados e Snyder

Bacias	tp (h)			tb (h)			qp m3/s/mm			t50 (h)		t75 (h)	
	calc.	obs. (h)	Snyder (h)	calc. (h)	obs. (h)	Snyder (h)	calc.	obs. m3/s/mm	Snyder m3/s/mm	calc.	obs. (h)	calc.	obs. (h)
4B13R	12,65	13,00	12,99	34,09	36,00	107,66	6,97	6,91	7,13	6,15	6,60	3,82	3,30
4B14R	5,06	6,00	6,01	18,56	22,00	88,51	6,80	6,00	6,05	4,44	5,76	3,18	3,60
4B17R	30,93	28,00	27,96	63,42	70,00	148,64	3,48	2,85	2,96	15,64	18,20	7,90	10,30
3C12R	37,23	53,00	52,91	100,41	100,00	216,99	1,85	1,68	1,75	47,30	53,20	27,64	31,80
5C31R	7,14	8,00	7,97	19,72	20,00	93,89	4,84	6,20	6,32	5,36	3,37	2,69	1,87
8C8R	19,28	28,00	27,97	48,61	68,00	148,69	2,70	2,70	2,79	14,11	13,90	8,05	8,48
8C9R	50,01	46,80	46,69	77,86	90,00	199,96	2,73	2,80	2,90	31,13	35,00	16,48	22,50
2D54R	5,89	5,00	5,01	20,65	22,00	85,74	6,39	6,00	6,09	4,82	5,44	2,85	3,22
2D59R	4,01	4,00	3,98	16,19	16,00	82,93	4,25	4,40	4,50	3,30	3,38	1,75	2,00
2D61R	3,78	5,00	5,00	20,04	20,00	85,72	2,58	2,13	2,17	3,01	3,83	2,15	2,17
3E110R	6,76	5,00	4,98	18,87	15,00	85,68	2,74	3,10	3,14	4,64	3,94	2,62	2,67
3E111R	39,46	36,00	35,94	96,07	89,00	170,53	0,80	0,88	0,91	40,77	37,90	32,18	22,60
3E113R	5,20	4,00	3,98	25,96	28,00	82,95	4,86	6,00	6,00	5,06	3,52	3,65	2,53
4E25R	28,86	38,00	37,93	67,52	76,00	175,96	1,36	0,87	0,90	22,54	43,20	14,02	29,20
4F38R	54,61	43,00	42,90	110,41	103,00	189,56	1,25	1,60	1,67	58,47	36,80	26,17	20,40

Tabela 4.10 – Diferenças em porcentagem dos parâmetros dos Hidrogramas Observados/Calculados e Observados/Snyder

Bacias	Diferenças (%)		Diferenças (%)		Diferenças (%)		Diferença (%)	Diferença (%)
	tp		qp		tb		t50	t75
	obsxcalc	obsxSnyder	obsxcalc	obsxSnyder	obsxcalc	obsxSnyder	obsxcalc	obsxcalc
4B13R	2,77	0,08	0,86	3,09	5,60	66,56	7,32	13,61
4B14R	18,58	-0,17	11,76	0,83	18,53	75,14	29,73	13,21
4B17R	9,47	0,14	18,10	3,72	10,38	52,91	16,37	30,38
3C12R	42,36	0,17	9,19	4,00	0,41	53,91	12,47	15,05
5C31R	12,04	0,38	28,10	1,90	1,42	78,70	37,13	30,48
8C8R	45,23	0,11	0,00	3,23	39,89	54,27	1,49	5,34
8C9R	6,42	0,24	2,56	3,45	15,59	54,99	12,43	36,53
2D54R	15,11	0,20	6,10	1,48	6,54	74,34	12,86	12,98
2D59R	0,25	0,50	3,53	2,22	1,17	80,71	2,42	14,29
2D61R	32,28	0,00	17,44	1,84	0,20	76,67	27,24	0,93
3E110R	26,04	0,40	13,14	1,27	20,51	82,49	15,09	1,91
3E111R	8,77	0,17	10,00	3,30	7,36	47,81	7,04	29,77
3E113R	23,08	0,50	23,46	0,00	7,86	66,24	30,43	30,68
4E25R	31,67	0,18	36,03	3,33	12,56	56,81	91,66	108,27
4F38R	21,26	0,23	28,00	4,19	6,71	45,66	37,06	22,05

#### **4.5 - Resultados das Regressões Lineares para Obtenção das Equações dos Coeficientes do Hidrograma Unitário de Snyder**

Para o coeficiente  $C_t$  obteve-se uma regressão com coeficiente de determinação  $R^2 = 92,9\%$ , portanto a equação determinada pela regressão linear explica bem a variável dependente  $C_t$  conforme a tabela 4.11.

Para o coeficiente  $C_p$  obteve-se uma regressão com coeficiente de determinação  $R^2 = 93,7\%$ , portanto a equação determinada pela regressão linear explica bem a variável dependente  $C_p$  conforme a tabela 4.12.

KOPP & PAIVA (1993) obtiveram equações regionalizadas para  $C_t$  e  $C_p$  apresentadas nas equações (2.11) e (2.13) com  $R^2 = 0,95$  e  $0,94$  respectivamente.

A matriz de correlação entre  $C_p$  e  $C_t$ , está na tabela 4.3 e as regressões lineares de  $C_t$  e  $C_p$  estão nas tabelas 4.11 e 4.12.

A partir dos dados obtidos neste estudo, procurou-se ajustar as equações regionalizadas para  $C_t$  e  $C_p$ , em função das características fisiomorfológicas das bacias, apresentando-se bons os resultados, conforme apresentado nas tabelas 4.11 e 4.12.

Na tabela 4.13 encontramos os coeficientes  $C_t$  e  $C_p$  calculados a partir das equações de Snyder e das equações 4.6 e 4.7 desenvolvidas neste trabalho.



Tabela 4.11 – Regressão Linear de Ct

Equação de Regressão

$$\log Ct = - 3.94 - 2.70 \log P + 2.15 \log If - 1.61 \log D - 1.37 \log Sh + 5.16 \log L$$

Predictor	Coef	Stdev	t-ratio	p
Constant	-3.943	1.014	-3.89	0.004
log P	-2.704	1.036	-2.61	0.028
log If	2.1471	0.4275	5.02	0.000
log D	-1.6106	0.4407	-3.65	0.005
log Sh	-1.3700	0.1829	-7.49	0.000
log L	5.161	1.147	4.50	0.000

s = 0.1312    R-sq = 92.9%    R-sq(adj) = 89.0%

Analysis of Variance

SOURCE	DF	SS	MS	F	p
Regression	5	2.04174	0.40835	23.71	0.000
Error	9	0.15503	0.01723		
Total	14	2.19677			

SOURCE	DF	SEQ SS
log P	1	0.64447
log If	1	0.04663
log D	1	0.36586
log Sh	1	0.63611
log L	1	0.34866

Na tabela 4.11 o modelo de regressão é significativo, pois ( $p = 0,000$ ) é menor que 0,005. Portanto o valor-p mostra que o modelo ajustado é significativo ao nível de significância de 0,005, logo o modelo obtido pode ser aceito.

R-sq que é o coeficiente de determinação da equação é de 92,9% e o valor de R-Sq (adj), que representa a proporção da variação na resposta explicada pelo modelo, é de 89,0%, o que mostra que a equação esta bem ajustada, pois ambos são próximos de 90%.

Tabela 4.12 – Regressão Linear de Cp

Equação de Regressão

$$\log C_p = 7.48 + 0.500 \log Sh + 0.924 \log D + 8.58 \log Ic + 0.305 \log Lg \\ + 0.405 \log Ct + 4.05 \log A - 9.39 \log P$$

Predictor	Coef	Stdev	t-ratio	p
Constant	7.482	1.054	7.10	0.000
log Sh	0.4995	0.1305	3.83	0.006
log D	0.9245	0.1902	4.86	0.000
log Ic	8.580	1.543	5.56	0.000
log Lg	0.30532	0.08472	3.60	0.009
log Ct	0.40517	0.09024	4.49	0.000
log A	4.0515	0.7858	5.16	0.000
log P	-9.388	1.581	-5.94	0.000

s = 0.03761    R-sq = 93.7%    R-sq(adj) = 87.5%

Analysis of Variance

SOURCE	DF	SS	MS	F	p
Regression	7	0.148471	0.021210	14.99	0.001
Error	7	0.009902	0.001415		
Total	14	0.158374			

SOURCE	DF	SEQ SS
log Sh	1	0.007911
log D	1	0.010995
log Ic	1	0.032131
log Lg	1	0.014451
log Ct	1	0.000923
log A	1	0.032203
log P	1	0.049859

Na tabela 4.12 o modelo de regressão é significativo, pois ( $p = 0,001$ ) é menor que 0,005. Portanto o valor-p mostra que o modelo ajustado é significativo ao nível de significância de 0,005, logo o modelo obtido pode ser aceito.

R-sq que é o coeficiente de determinação da equação é de 93,7% e o valor de R-Sq (adj), que representa a proporção da variação na resposta explicada pelo modelo, é de 87,5%, o que mostra que a equação esta bem ajustada, pois ambos são próximos de 90%.

As equações dos coeficientes do Hidrograma Unitário Sintético de Snyder são:

$$C_t = 10^{-3,94} \cdot P^{-2,7} \cdot I_f^{2,15} \cdot D^{-1,61} \cdot Sh^{-1,37} \cdot L^{5,16} \quad R^2=(0,93) \quad (4.6)$$

$$C_p = 10^{7,48} \cdot Sh^{0,5} \cdot D^{0,924} \cdot I_c^{8,58} \cdot L_g^{0,305} \cdot C_t^{0,405} \cdot A^{4,05} \cdot P^{-9,39} \quad R^2=(0,91) \quad (4.7)$$

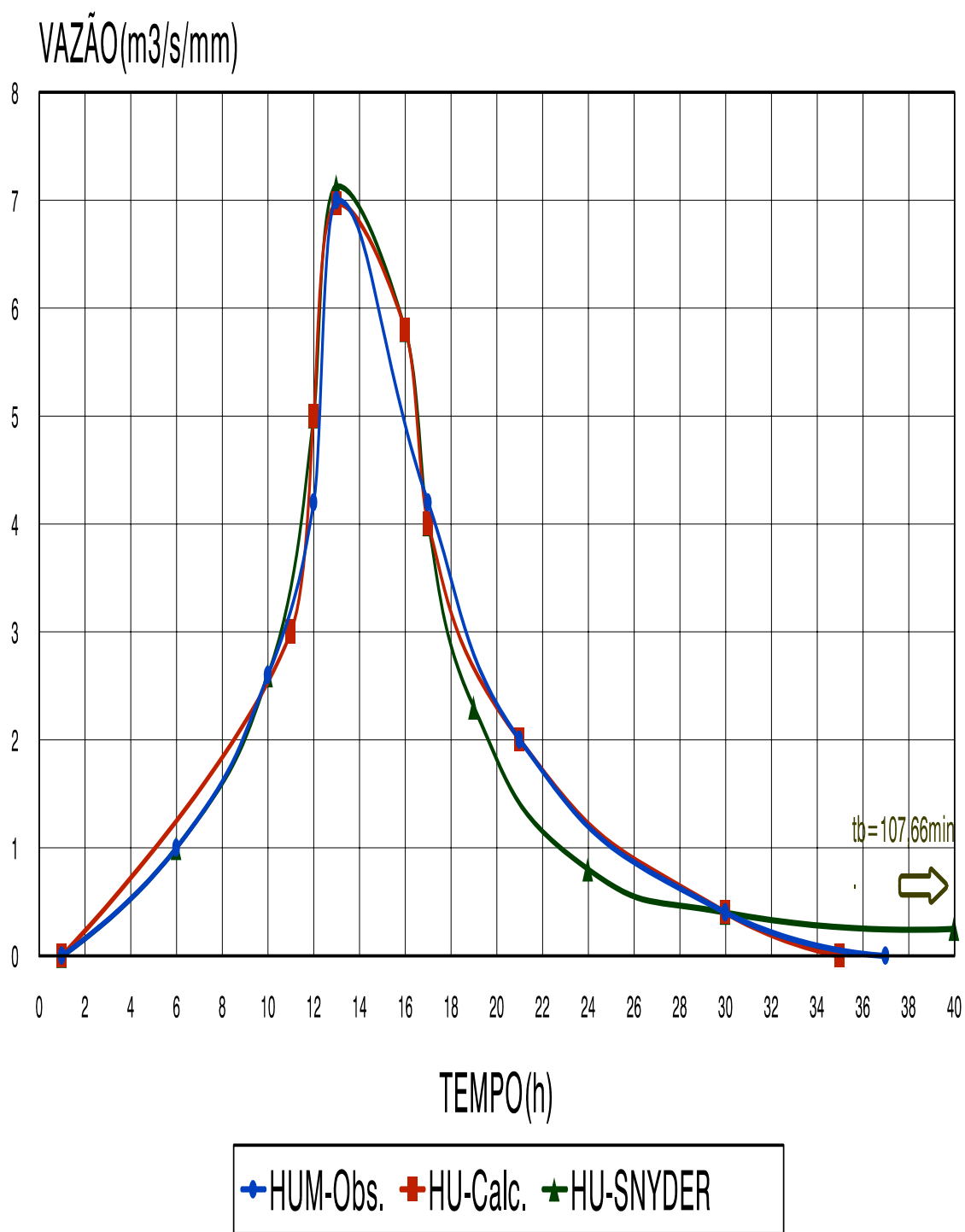


Figura 4.20-HUM Observado / HU-Calculados na Bacia-4B13R - para duração da chuva efetiva de 75 min.

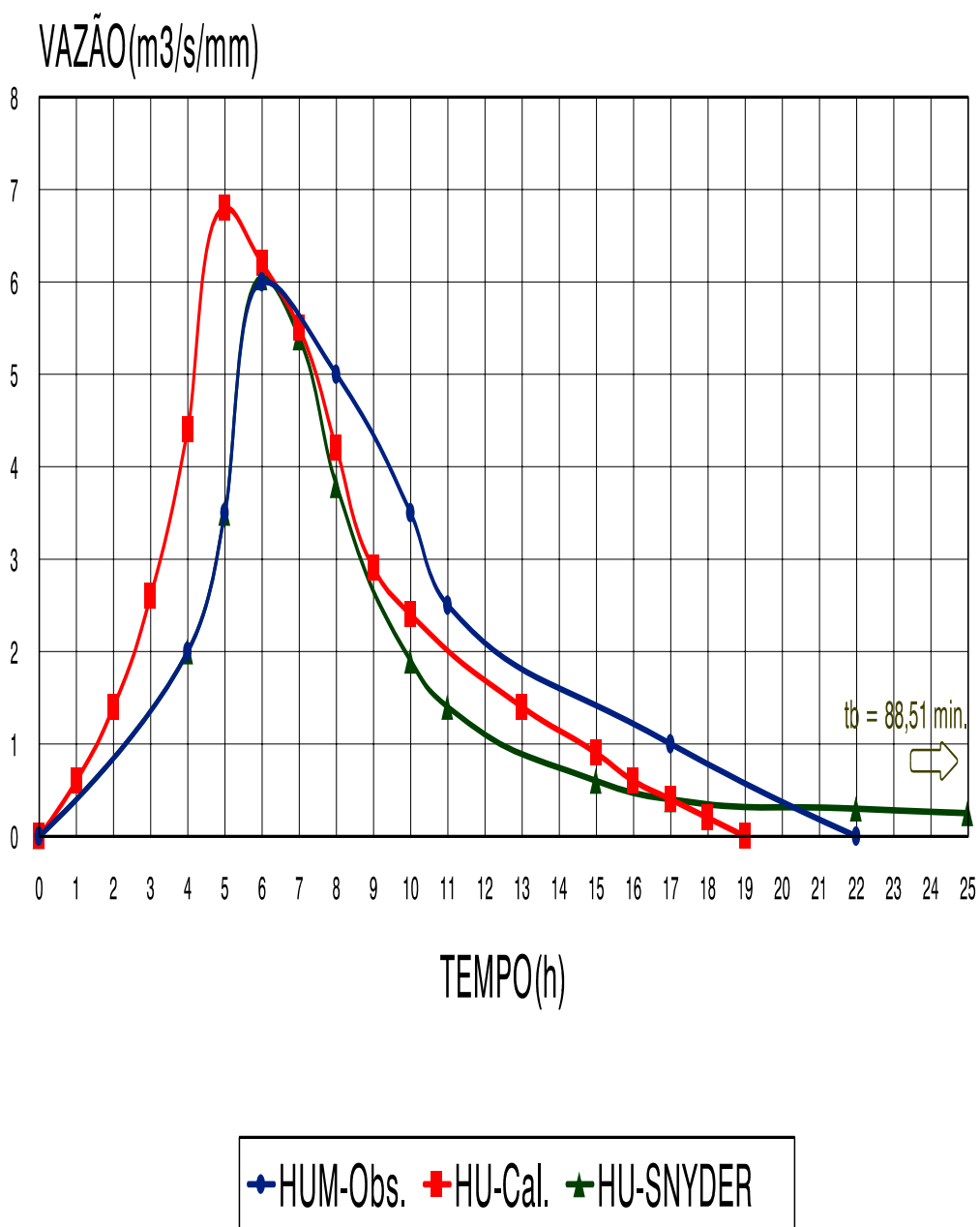


Figura 4.21 - HUM Observado / HU-Calculados na Bacia - 4B14R - para duração da chuva efetiva de 45 min.

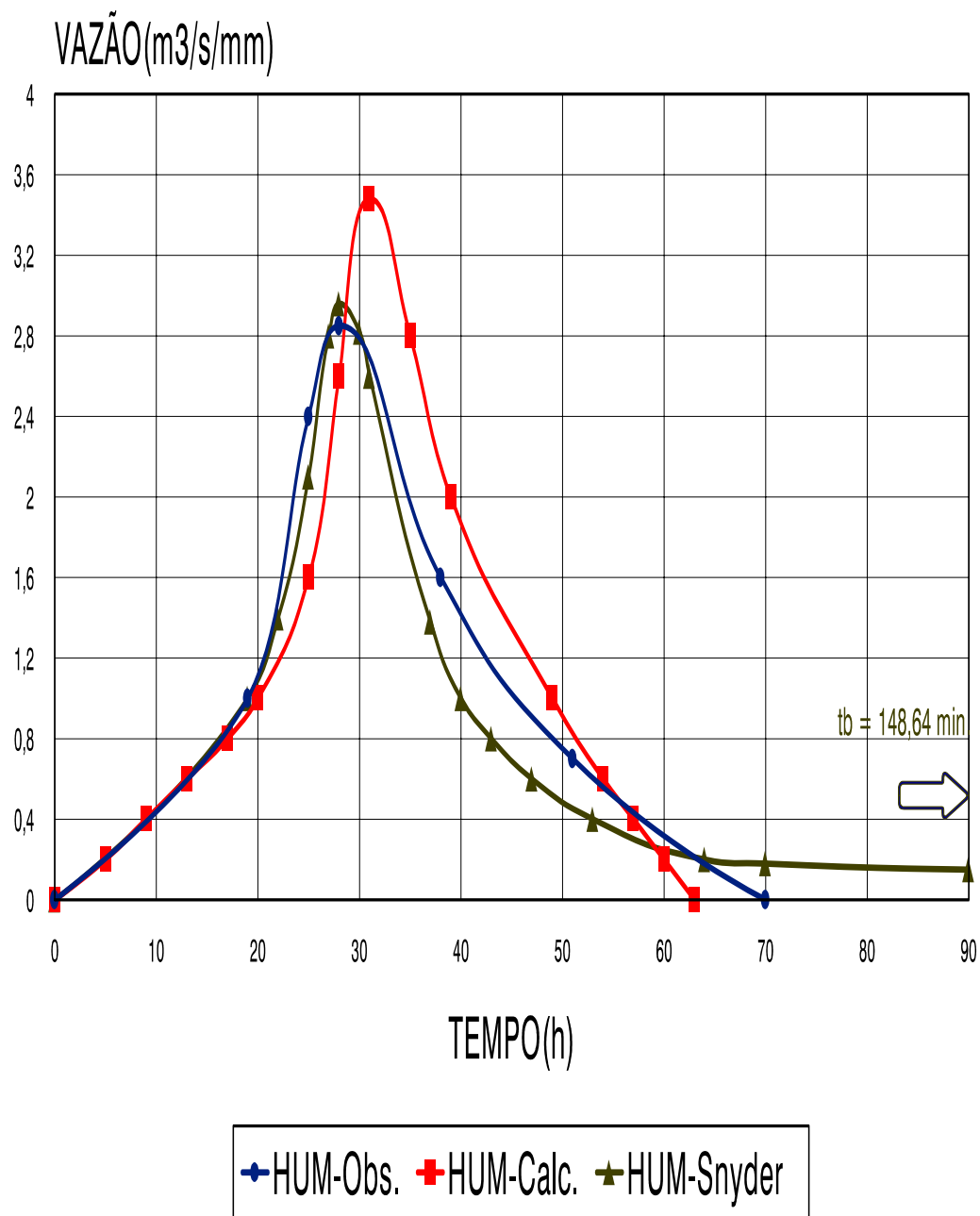


Figura 4.22 - HUM Observado / HU-Calculados na Bacia - 4B17R - para duração da chuva efetiva de 60 min.

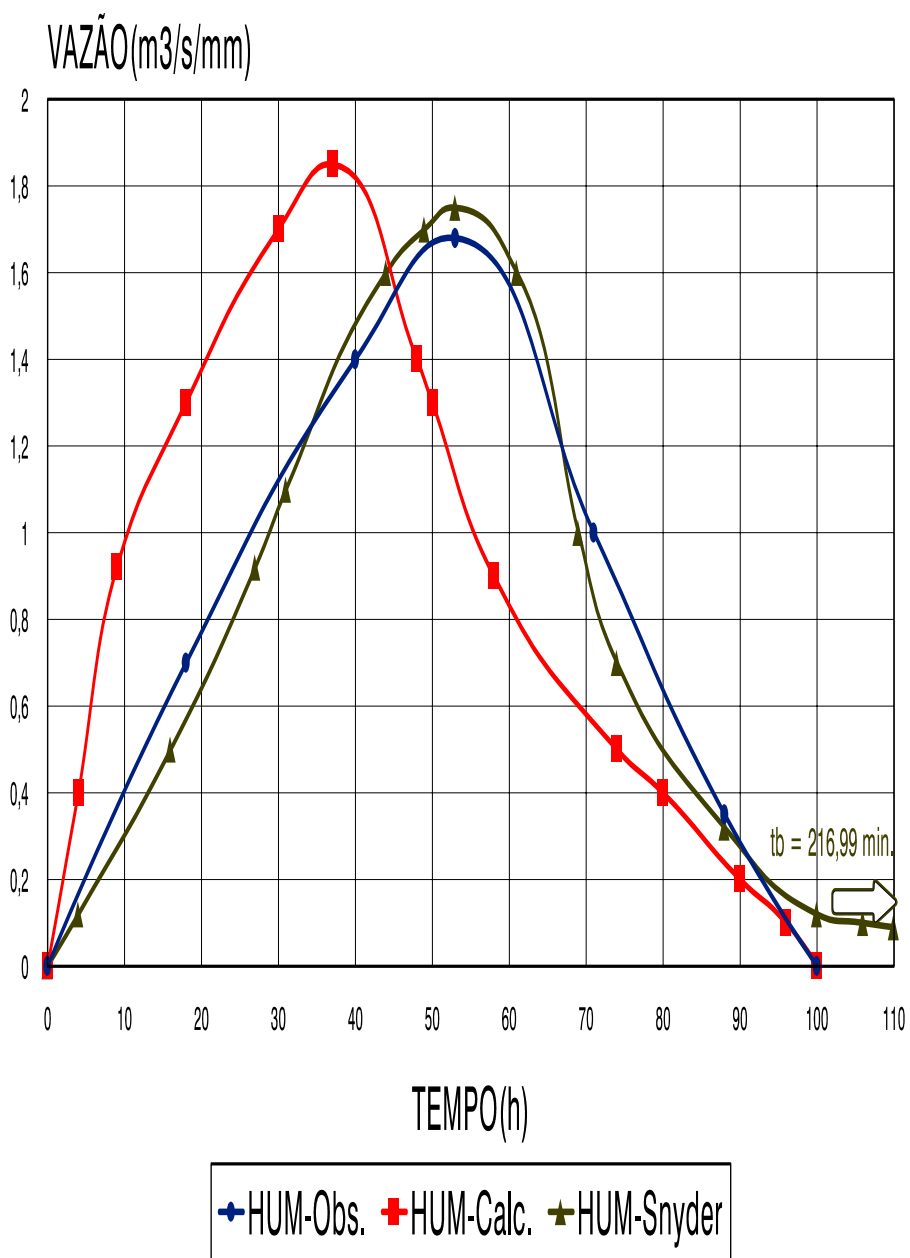


Figura 4.23 - HUM Observado / HU Calculados na Bacia 3C12R - para duração de chuva efetiva de 50 min.



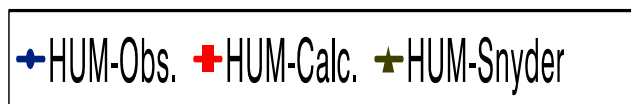
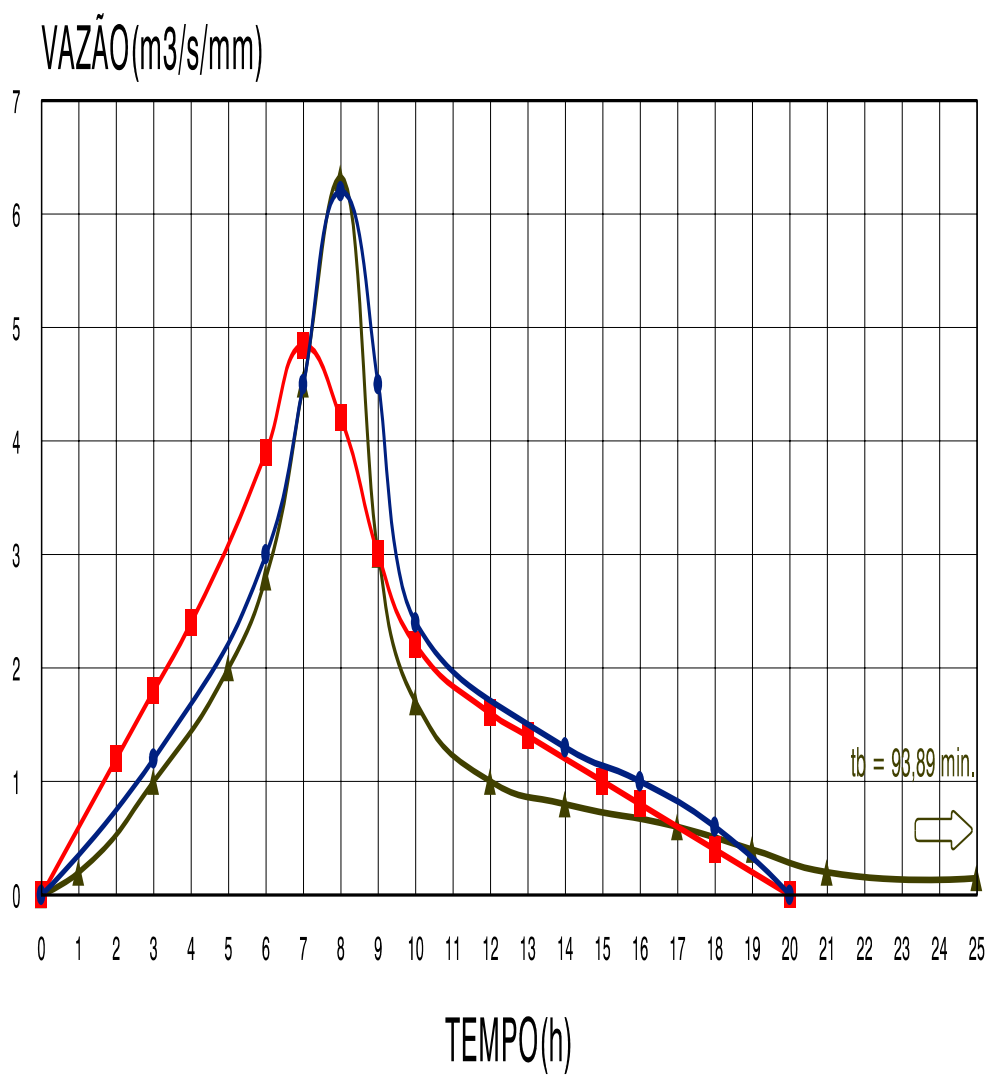


Figura 4.24 - HUM Observado / HU-Calculados na Bacia - 5C31R - para duração da chuva efetiva de 40 min.

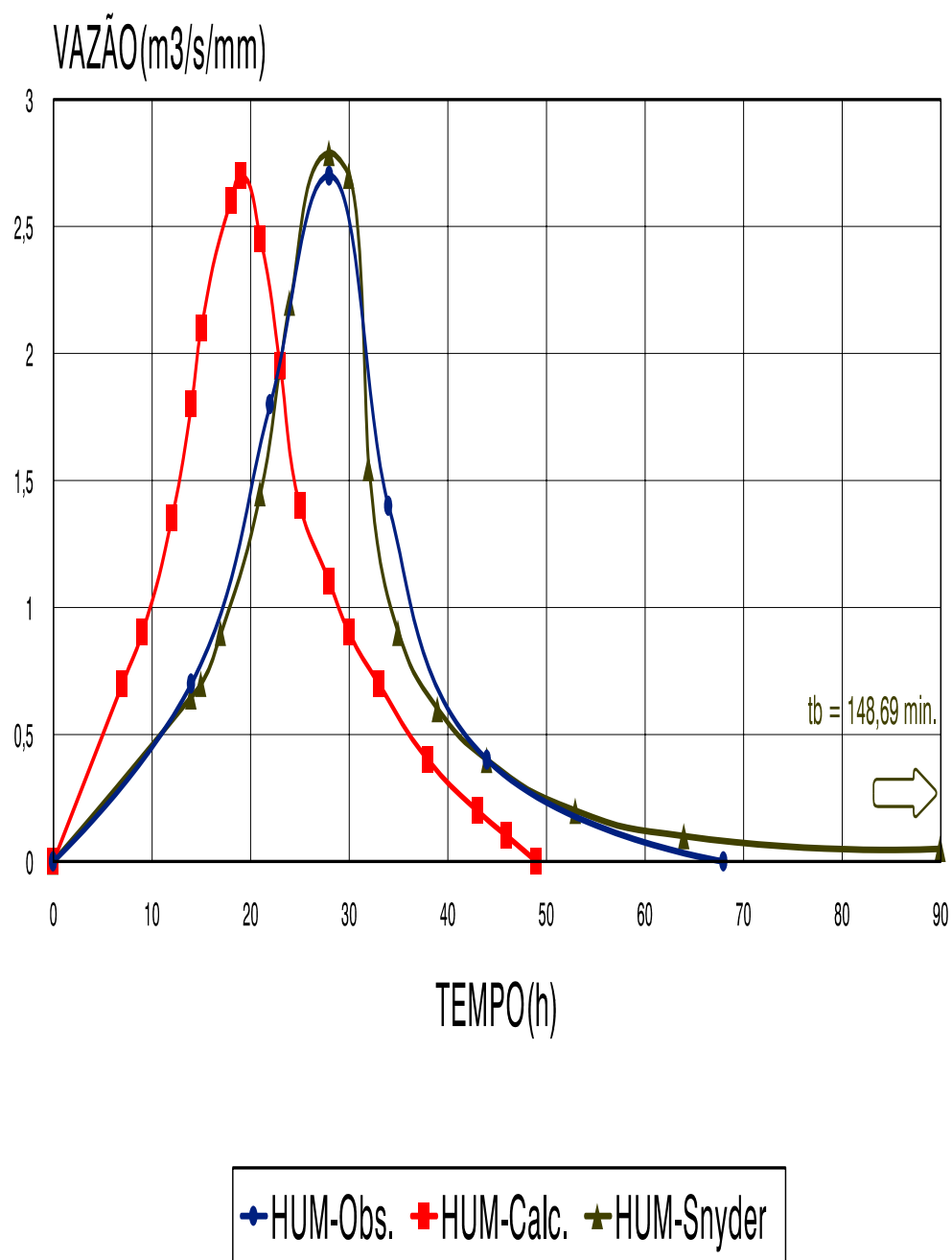


Figura 4.25 - HUM Observado / HU-Calculados na Bacia - 8C8R - para duração da chuva efetiva de 60 min.

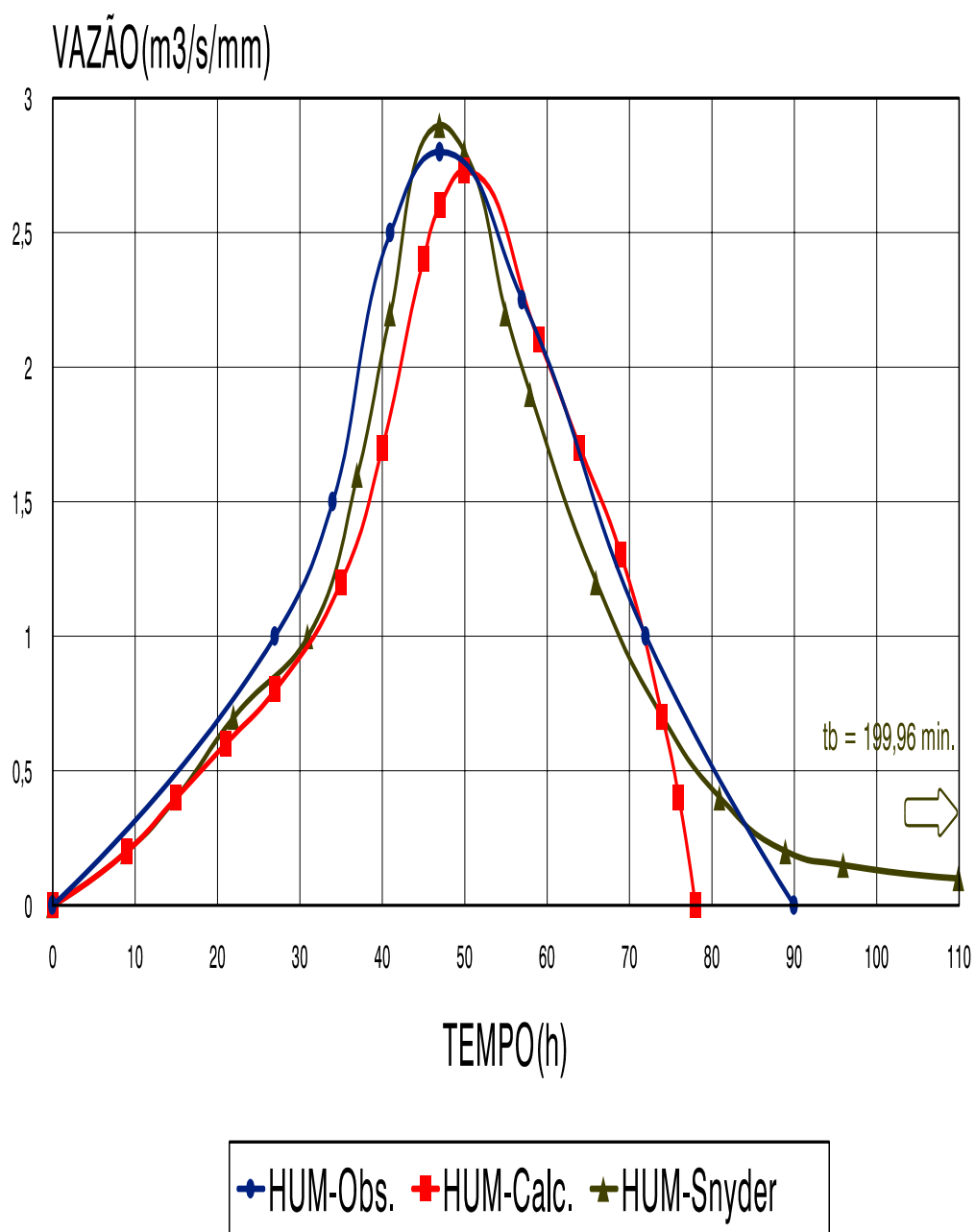


Figura 4.26 - HUM Observado / HU-Calculados na Bacia - 8C9R - para duração da chuva efetiva de 80 min.

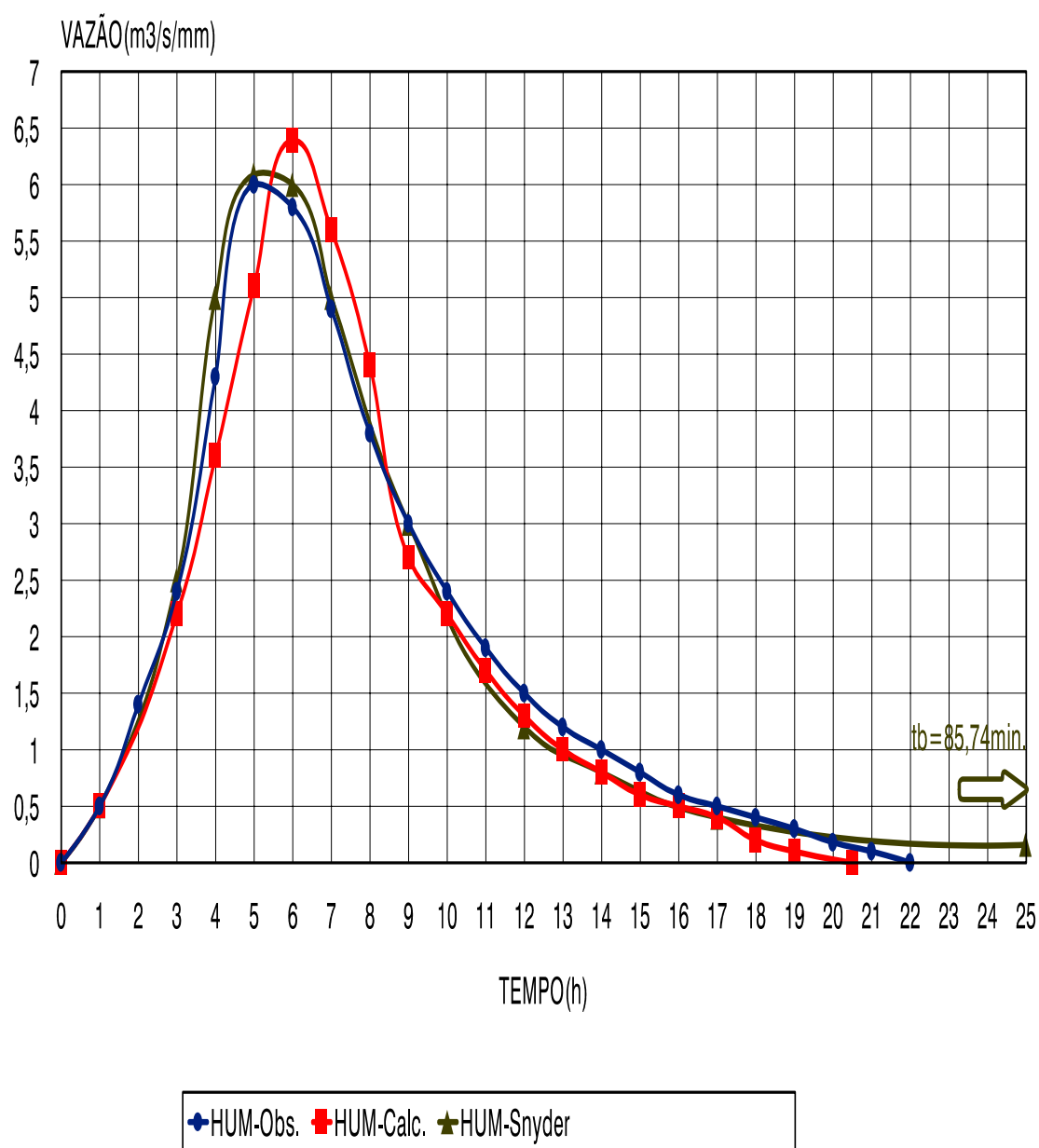


Figura 4.27-HUM Observado / HU Calculados na Bacia 2D54R - para duração de chuva efetiva de 25 min.

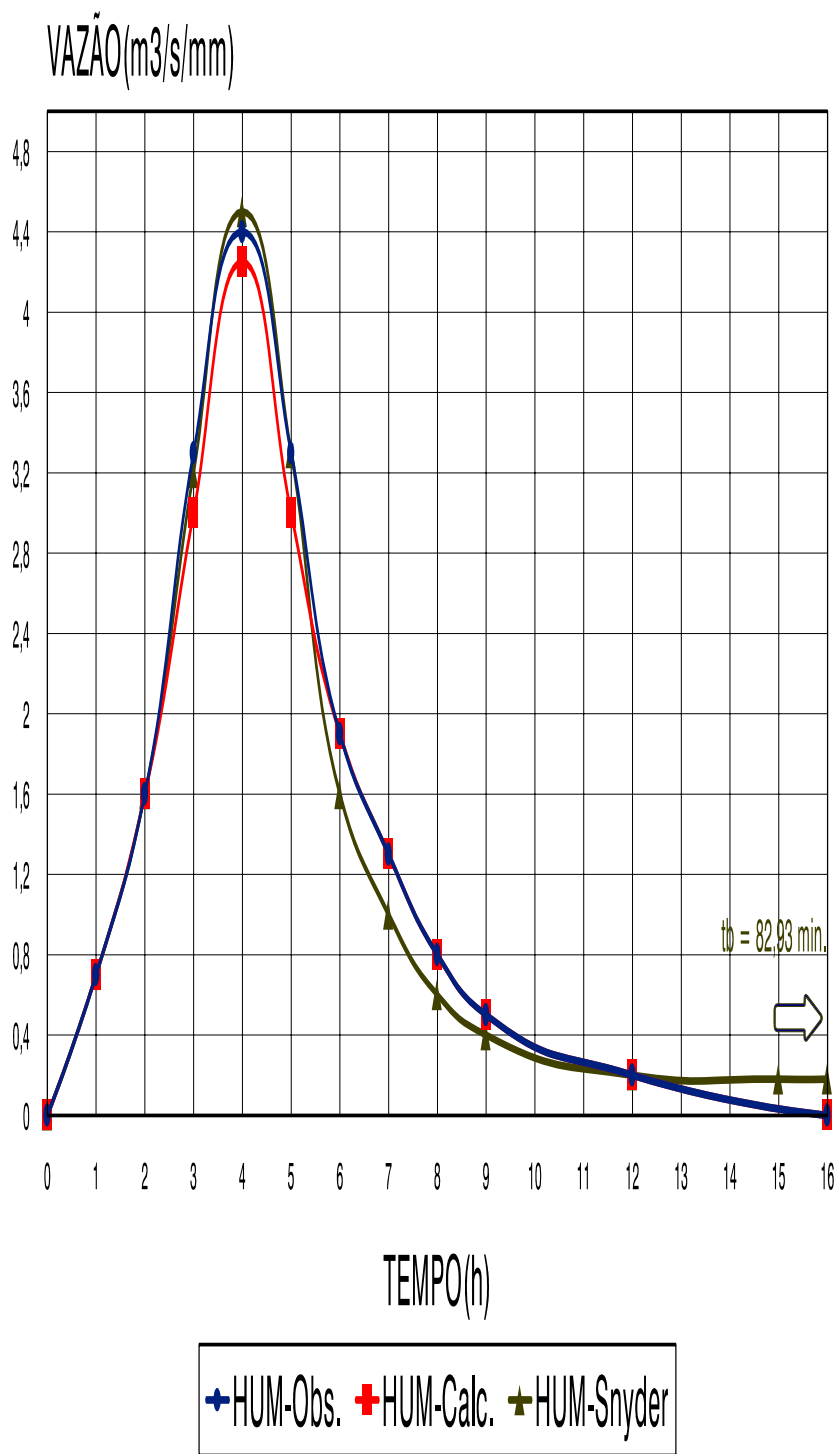


Figura 4.28 - HUM Observado / HU Calculados na Bacia 2D59R - para duração de chuva efetiva de 15 min.

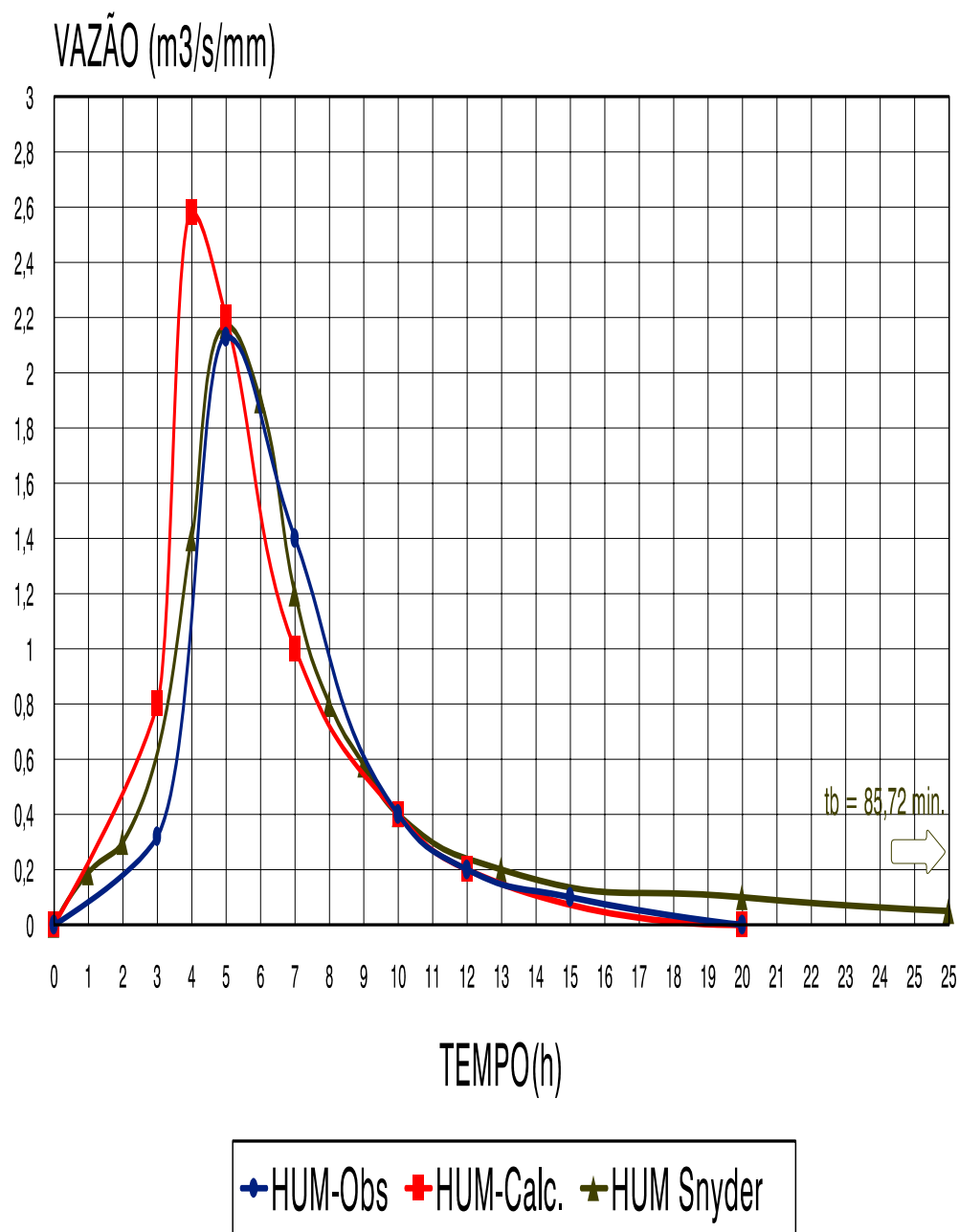
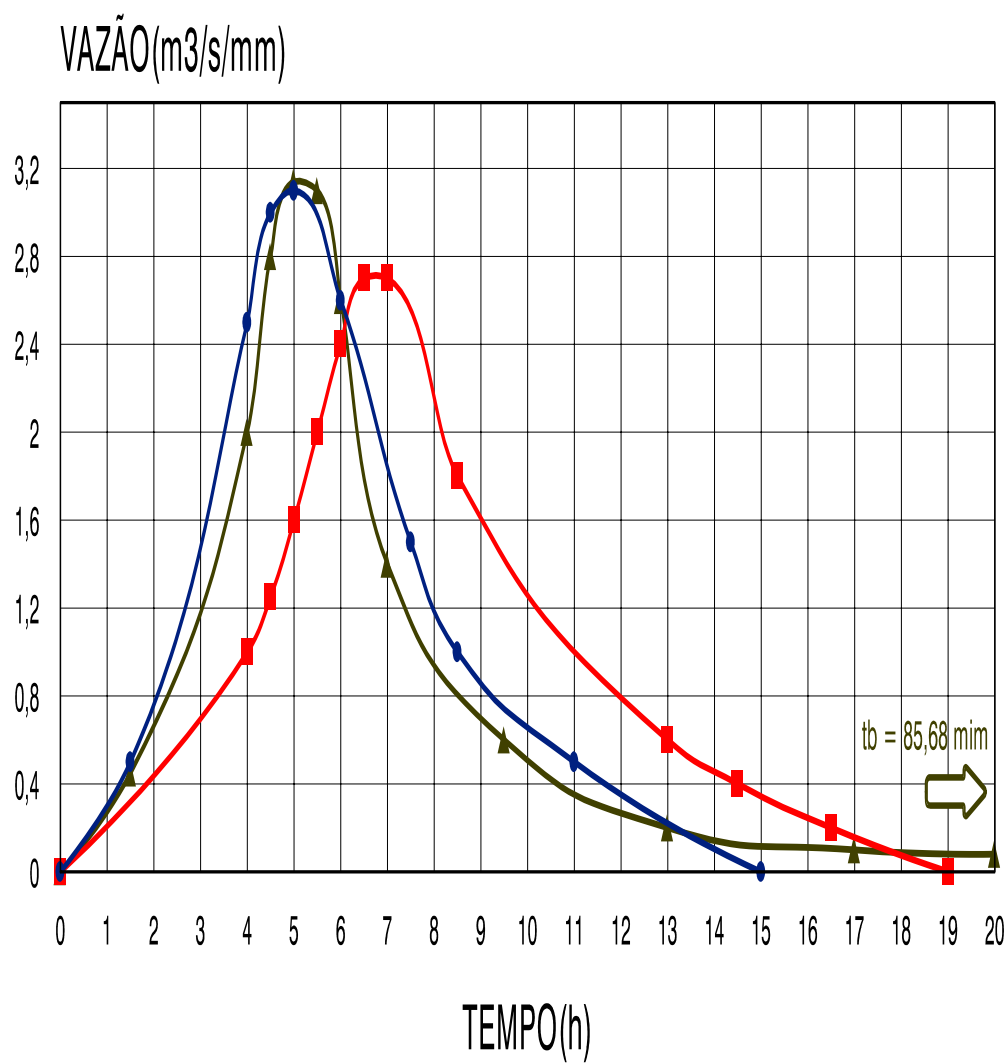


Figura 4.29 - HUM Observado / HU Calculados na Bacia 2D61R - para duração de chuva efetiva de 25 min.



● HUM-Obs. 
 ■ HUM-Calc. 
 ▲ HUM Snyder

Figura 4.30 - HUM Observado / HU Calculados na Bacia 3E110R - para duração de chuva efetiva de 50 min.

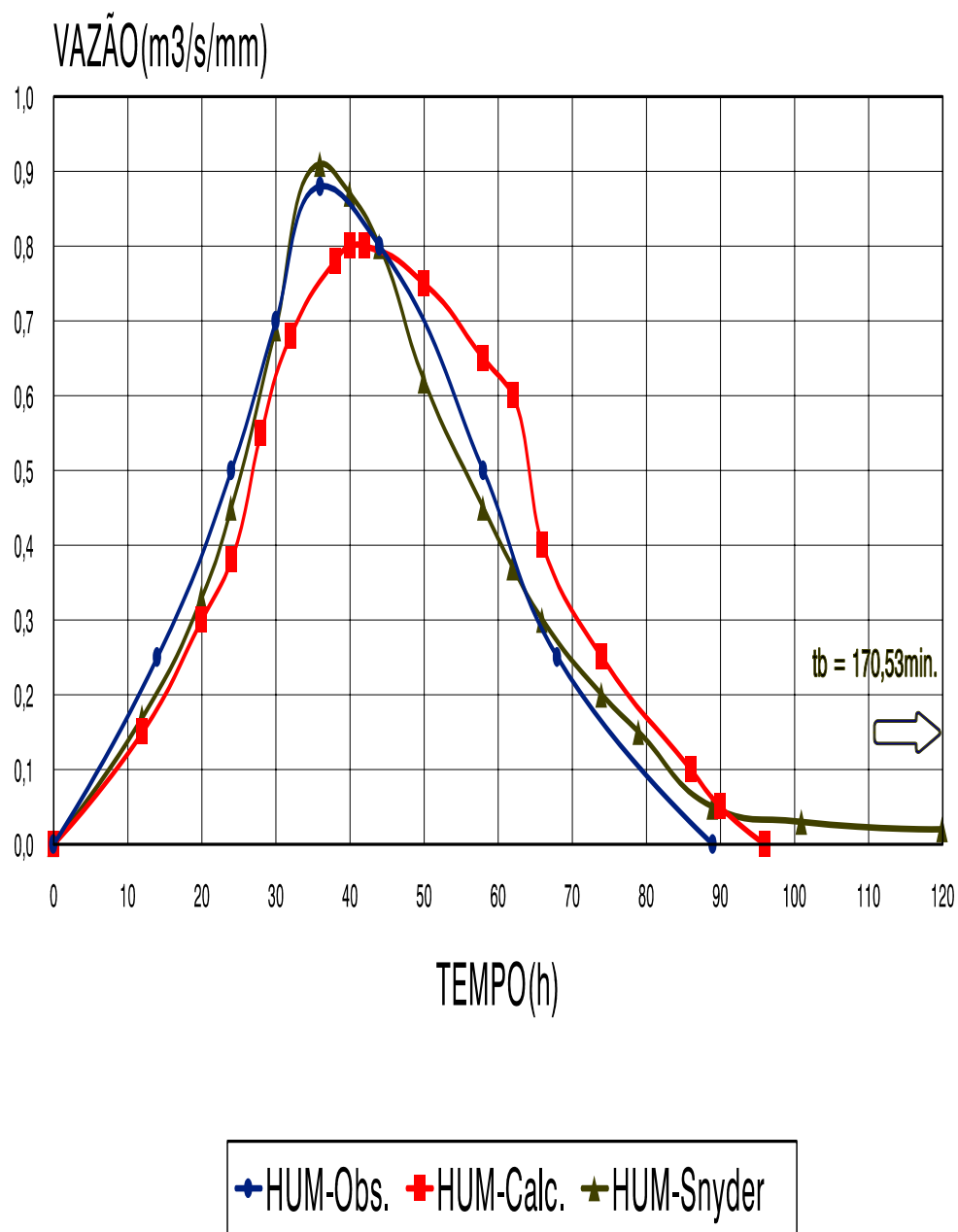
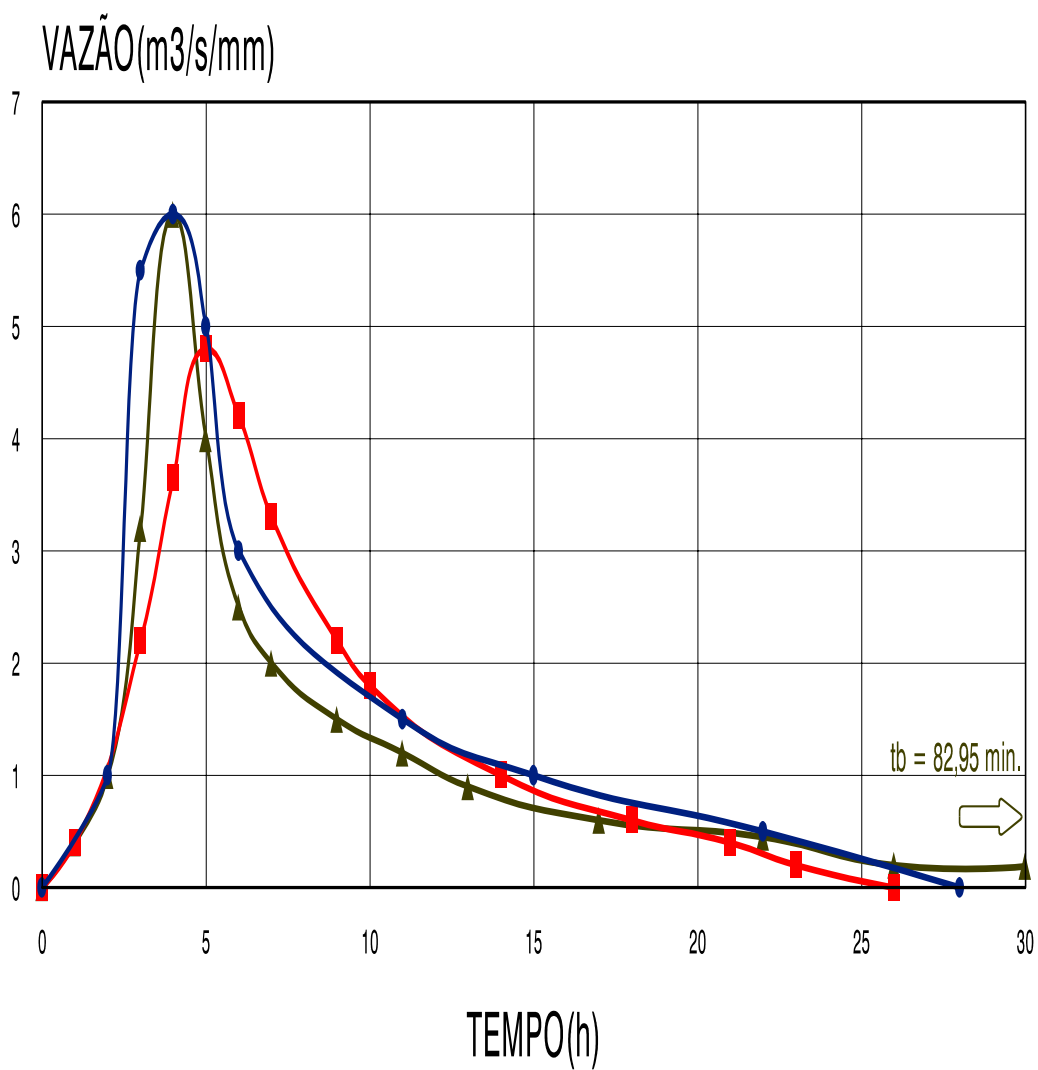


Figura 4.31- HUM Observado / HU Calculados na Bacia 3E111R - para duração de chuva efetiva de 80 min.





● HUM-Obs. 
 ■ HUM-Calc. 
 ▲ HUM-Snyder

Figura 4.32 - HUM Observado / HU Calculados na Bacia 3E113R - para duração de chuva efetiva de 45 min.

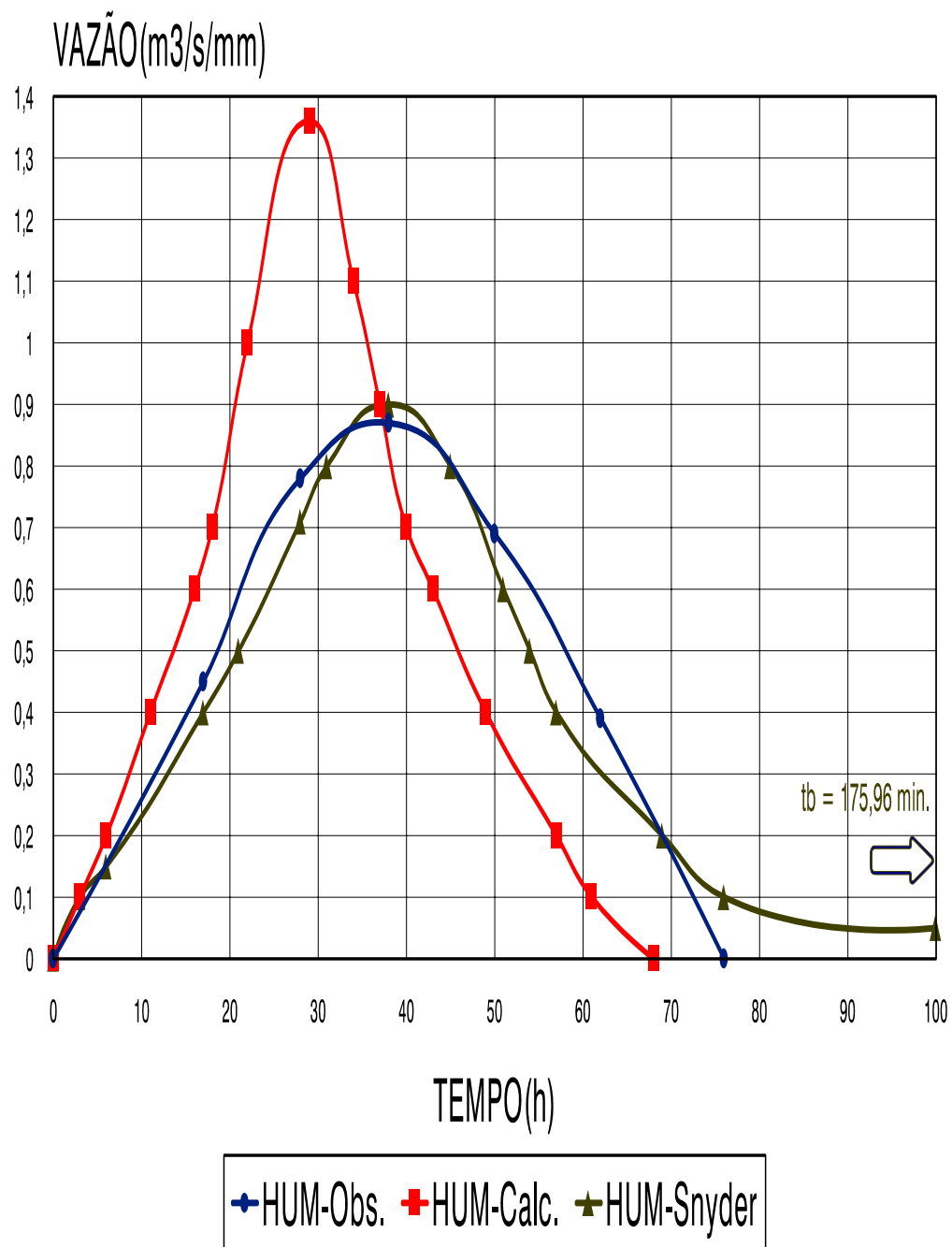


Figura 4.33- HUM Observado / HU-Calculados na Bacia - 4E25R - para duração da chuva efetiva de 60 min.

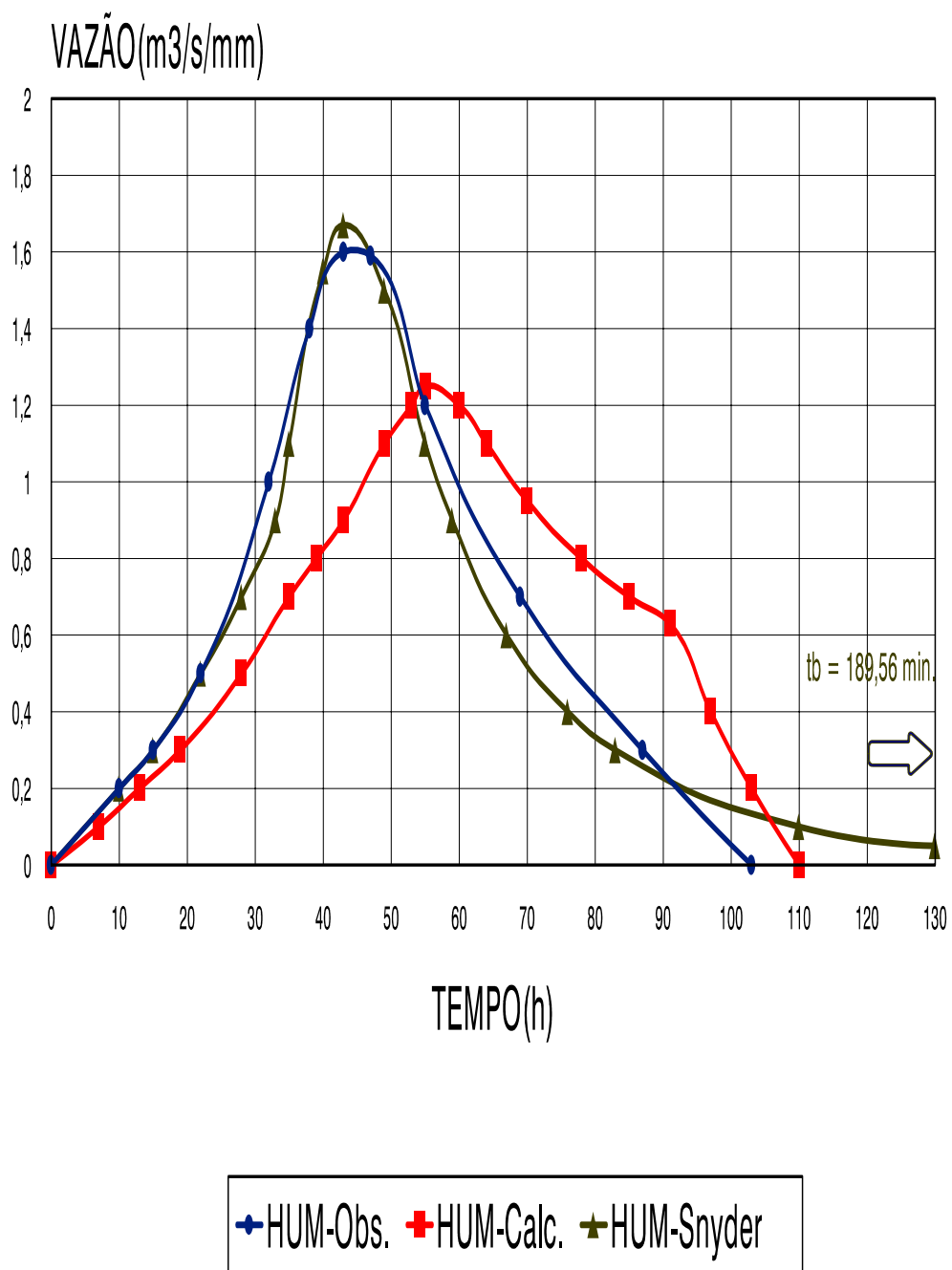


Figura 4.34 - HUM Observado / HU-Calculados na Bacia - 4F38R - para duração da chuva efetiva de 50 min.

Tabela 4.13 – Comparações entre Ct e Cp calculados a partir das equações originais de Snyder e das equações de Snyder modificadas (equações 4.6 e 4.7)

Bacias hidrográficas	Snyder original		Snyder Novos Ct e Cp		Diferença (%)	
	Ct	Cp	Ct	Cp	Ct	Cp
4B-13R	1,87	1,19	1,97	1,20	5,26	0,49
4B-14R	1,37	0,68	1,08	0,58	27,01	17,98
4B-17R	4,36	1,04	4,79	1,13	9,01	8,31
3C-12R	10,11	0,89	7,31	0,81	38,32	10,06
5C-31R	2,09	1,18	2,16	1,18	3,29	0,18
8C-8R	5,31	1,41	4,24	1,13	25,22	24,57
8C-9R	8,63	1,13	9,11	1,06	5,29	6,71
2D-54R	1,16	0,63	1,36	0,73	14,68	13,52
2D-59R	1,25	0,89	1,25	0,80	0,40	10,84
2D-61R	1,29	0,95	1,09	0,89	18,27	6,49
3E-110R	1,4	0,79	1,98	0,92	29,39	13,91
3E-111R	8,66	0,84	9,64	0,91	10,18	7,71
3E-113R	0,81	0,59	1,09	0,61	25,52	3,88
4E-25R	8,8	0,87	6,19	0,74	42,21	17,42
4F-38R	6,84	0,88	9,97	0,94	31,38	6,73



## 5. CONCLUSÃO

As equações encontradas neste trabalho são mais representativas para bacias rurais do Estado de São Paulo com área entre 38 e 398 Km<sup>2</sup>.

Nas figuras 4.20 a 4.34, e nas Tabelas 4.9 e 4.10, encontramos as comparações entre os hidrogramas unitários médios observados (denominados “observados”), os hidrogramas unitários sintéticos regionalizados (denominados de “calculados”) e os hidrogramas unitários sintéticos de Snyder com os coeficientes regionalizados (denominados de “Snyder”).

Observa-se que os hidrogramas unitários sintéticos de Snyder com os coeficientes regionalizados aproximam-se muito dos hidrogramas unitários observados. Embora, os valores de  $t_b$  destes hidrogramas tenham resultado muito superiores aos observados. Para os valores de  $t_p$  se observa uma diferença de 0,21% em média, sendo que o menor valor é 0% e o maior valor é 0,5%. Para os valores de  $q_p$  se observam uma diferença de 2,52% em média, sendo que o menor valor é 0% e o maior valor é 4,19%. Para os valores de  $t_b$  se observa uma diferença de 64,48% em média, sendo que o menor valor é 52,91% e o maior valor é 82,49%.

Os hidrogramas unitários sintéticos regionalizados também ficaram próximos dos observados. Para os valores de  $t_p$  se observa uma diferença de 19,69% em média, sendo que o menor valor é 0,25% e o maior valor é 45,23%. Para os valores de  $t_b$  se observam uma diferença de 10,32% em média, sendo que o menor valor é 0,20% e o maior valor é 39,89%. Para os valores de  $q_p$  se observam uma diferença de 13,89%

em média, sendo que o menor valor é 0% e o maior valor é 36,03% . Para os valores de t50 se observam uma diferença de 22,72% em média, sendo que o menor valor é 1,49% e o maior valor é 91,66%, mas se deve ressaltar que uma diferença desta ordem de grandeza só ocorreu para uma bacia e que o valor logo abaixo deste já passa 37,13%. Para os valores de t75 se observam uma diferença de 24,37% em média, sendo que o menor valor é 0,93% e o maior valor é 108,27%.

Os valores dos coeficientes de  $C_t$  do método de Snyder ficaram com diferenças acima de 30% nas bacias 3C12R, 4E25R e 4F38R daqueles calculados com as equações de Snyder, conforme a tabela 4.13, o que mais uma vez evidencia a característica regional deste coeficiente, dando maior importância para alguma característica de declividade na bacia.  $C_t$  teve na média uma diferença de 19,03%, sendo que a maior diferença foi de 42,21% na bacia 4E25R e a menor diferença de 0,40% na bacia 2D59R.

Já os valores de  $C_p$  ficaram bem próximos dos de Snyder, com uma diferença média de 9,92%, com diferenças menores que 17%, exceto a bacia 8C8R que atingiu 24,57% sendo esta a maior diferença, e a menor diferença de 0,18% na bacia 5C31R, conforme a tabela 4.13..

Ambos os métodos, do hidrograma unitário regionalizado (“Calculado”) e o de Snyder com os novos coeficientes  $C_t$  e  $C_p$  regionalizados, deram bons resultados quando comparados com os hidrogramas unitários observados. O método de Snyder com os novos coeficientes  $C_t$  e  $C_p$  deu resultado ligeiramente melhores que os do hidrograma unitário regionalizado, mas os valores de  $t_b$  pelo método de Snyder deram resultados muito distantes dos valores observados e também este método de Snyder não tem equações para t50 e t75, que auxiliam em muito no desenho do hidrograma unitário.

Ao utilizar as equações em algum trabalho de engenharia, recomenda-se:

- a) Verificar a existência de dados reais, observados na bacia em estudo, para servir de controle dos resultados regionalizados.
- b) O cálculo de  $t_{50}$  e  $t_{75}$  dá mais parâmetros para se traçar o gráfico do hidrograma unitário, portanto recomenda-se usá-los.





## 6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERNARD, M. et al. (1949) - "Hydrology Handbook". ASCE - Manuals of Engineering Practise - Nº. 28 . 184 p.

CHERNAYA, T. M. (1964) - Comparative Evalution of the Graphical Methods of Separation of Groundwater Components of Streamflow Hydrographs. Soviet Hydrology 5 , p. 454-465.

CHOW, V.T. (1962) - "Hydrologic Design of Culverts". Journal of Hydraulics Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Vol. 88, No. HY2, p. 39 - 55.

CHOW, V.T. (1962) - "Hydrologic Determination of Waterway Areas for the Design of Drainage Structures in Small Drainage Basins". University of Illinois, Engineering Experiment Station Bulletin No. 462, 104 p.

CHOW, V.T. et al. (1964)- "Handbook of Applied Hydrology McGraw-Hill Book Company.

COSTA NETO, P.L.O. (1977) - Estatística. Ed. Edgard Blucher , p. 181-211.

DIAZ B.P. & TUCCI C.E.M. (1989) - Regionalização de Hidrogramas Unitários de Bacias Urbanas Brasileiras . Revista Brasileira de Engenharia vol. 7 n.2 p. 19-29.

EAGLESON, P. S. (1962) - Unit Hydrograph characteristics for sewered areas. ASCE J. Hydraulics Division, 88(HY2), p.1-25

GENOVEZ, A.M (1991) - Avaliação dos métodos de estimação das vazões de enchentes para pequenas bacias rurais do Estado de São Paulo - Dissertação de Livre Docência apresentada a Faculdade de Engenharia da Unicamp, Campinas - SP, 225 p.

HERRMAN, A. E STICHLER, W. (1980) - Groundwater-Runoff Relationships. Caten 2/3(7), p.251 - 263.

HJELMFELT A . & WANG M. (1994) - General Stochastic Unit Hydrograph. Journal of Irrigation and Drainage Engineering vol.120 n.1. p.138-149.

KÖPP L.M & PAIVA J.B.D. (1993) - Avaliação e adequação de métodos de determinação do Hidrograma Unitário Sintético a pequenas bacias hidrográficas rurais. RBE - Caderno de Recursos Hídricos - Vol. II, nº 2, 2/dez/ 1993, p. 63 - 80.

KRUGER C.M. & KAVISKI (1996) - Método Computacional para Regionalização de Vazões uma abordagem objetiva. XVII Congresso Latino Americano de Hidráulica, Equador . p. 307-318.

LIN G. F. & WANG Y.M. (1996) - General stochastic instantaneous unit hydrograph . Journal of hydrology n. 182. p. 227-238.

LINSLEY Jr, R. K. et al. (1949), Applied Hydrology, McGraw-Hill Book, New York.

LINSLEY Jr, R. K. et al. (1958), Hydrology for Engineers, McGraw-Hill Book, New York

MATSUBAYASHI U. et al. ( 1993 ) - Hydrograph separation and flow analysis by specific electrical conductance of water. n. 152 p. 179-199.

MILLER, D. L. & CLARK, R. A. - (1972) - Estudo de Avenidas. In: ESTADOS UNIDOS. BERAU OF RCLAMATION. - Diseño de presas pequeñas. 3. Ed. México, Ed. Continental. Cap. 2, p. 53-95

NAKAMURA, R. (1971) - Runoff Analysis by Electrical Conductance of Water. Journal of Hydrology n.14 p.197-212

NASH, J. E. (1957) - The form of instantaneous unitary hydrograph. Publication Inter. Assoc. Hydrogology Sciences 3 (45).

PFAFSTETTER, O. (1976) - “Deflúvio superficial”. Rio de Janeiro, Serviço de Divulgação do Departamento Nacional de Obras de Saneamento. 144 p.

PITHAN, R.O.(1973) - Tempo de concentração de Pequenas Bacias Hidrográficas: Análise Comparativa dos diferentes Métodos. Dissertação de Mestrado em Engenharia, UFRJ, Rio de Janeiro.

REDA, A. L. de L. (1985) - “Regionalização do Hidrograma Unitário para Bacias Rurais do Estado de São Paulo”. Dissert. de Mestrado apresentada a Escola Politécnica da USP, São Paulo. 269 p.

REDA, A.L. & BRAGA, B.P.F. Jr. (1987) - Regionalização do Hidrograma Unitário Sintético para Pequenas Bacias Rurais do Estado de São Paulo. VII Simpósio Brasileiro de hidrologia e Recursos Hídricos. Anais 2. Salvador. p. 289 - 299.

SALINAS M.A.S.; M.J. ESPINOSA ( 1996 ) - Modelo Lluvia-Escorrimento Integrado para su uso en tiempo real . XVII Congresso Latinoamericano de Hidráulica . Equador . p.361-371.

SANCHEZ, J. ; M. S LOPES, . (1984) - Regionalização de Hidrogramas Unitários para Bacias Urbanas do Sul do Brasil. Instituto de Pesquisas Hidráulicas IPH-UFRGS, Recursos Hídricos - Publicação 8. Porto Alegre, 154 p.

SANSIGOLO C. A . (1982 ) - Separação de hidrógrafas pela condutividade elétrica da água. Revista Brasileira de Engenharia . vol.1 n.1 p. 13-21.

SANTANA A,G. et al. (1997 ) - Aplicação do SIG do Hidrograma Unitário a partir do histograma Tempo-área. XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. nov/97. Espírito Santo . p. 1-7.

SHERMAN, L. W. (1932), Streamflow from Rainfall by the Unit-Graph Method, Engineering News, vol. 108, pages 501-505.

SOUSA PINTO, N.L. et al. (1976) - "Hidrologia Básica". São Paulo, Editora Edgard Blücher Ltda. 278 p.

SU, N. (1995 ) - The unit hydrograph model for hydrograph separation. Environment International vol.21 n.5. p. 509-515.

SNYDER, F. F (1938), Syntetic Unit-Graphs, Transactions American Geophysical Union, Reports and Papers, Hydrology, pages 447-454

TUCCI, C. E. M. (1991), Hidrologia I, Instituto de Pesquisas Hidráulicas,UFRGS, Porto Alegre.

UEHARA, K. (1964) – Contribuição para o Estudo de vazões mínimas, médias e máximas de pequenas bacias hidrográficas. Tese de Livre Docência – Escola Politécnica – USP.

UEHARA, K. (1989) - Determinação da Vazão de Ponta de cheia no local do Barramento do Rio do Peixe. Companhia Paulista de Energia.

VISSMAN, W. Jr. et al. (1977) - Introduction to Hydrology. ThomasY. Crowell Company Inc., 1977, 704 p. 2ª ed.

VISOCKI, A. p. (1970) - Estimating the Ground-Water Contribution to Storm Runoff by the Electrical Conductance Method. Ground-Water 8(2) : 5-10 p.

WILKEN, P.S. (1978) - Engenharia de Drenagem Superficial. Companhia deTecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), São Paulo.  
478 p.

ZHAO, B. et al. (1995 ) - Estimation of Unit Hydrograph by Rydge Least-Squares Method. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. May.june 1995 p. 253- 259.

ZHAO, B. et al. (1997) - Storm resampling for uncertainty analysis of a multiple-storm unit hydrograph . Journal of Hydrology . n. 194 .p.366 - 384.



## **APÊNDICE - A**

### **DADOS ADICIONAIS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS ESTUDADAS**



## **A.1 - BACIA DO RIBEIRÃO DO SALGADO NO POSTO 4B-13R-SÍTIO CACHOEIRA**

Bacia hidrográfica com 259 km<sup>2</sup>, localizada próxima à cidade de Franca, cujo mapa é apresentado na figura A.1 . Na figura A.2 é apresentado o perfil longitudinal do talvegue principal da bacia.

A principal ocupação do solo é de sítios com plantações de culturas permanentes, como o café que ocupam cerca de 50% da área total; cerrados que ocupam cerca de 25%; uma pequena área urbanizada que ocupa cerca de 5%, formada pela cidade de Franca, nas proximidades da cabeceira do rio principal e o restante por culturas temporárias .

Os postos hidrométricos, disponíveis e utilizados foram:

Prefixo	Nome	Tipo	Latitude	Longitude
4B-13R	SÍTIO CACHOEIRA	LINIGRAF.	20° 36'S	47° 42'W
02047016	FRANCA-DNAEE	PLUVIOGRAF.	20° 32'S	47° 23'W
B4 24	CRISTAIS PAULISTAS	PLUVIOMET.	20° 24'S	47° 24'W
B4-20	RESTINGA	PLUVIOMET.	20° 36'S	47° 29'W
B4-21	S.JOSÉ BELA VISTA	PLUVIOMET.	20° 36'S	47° 28'W
B4-22	RIBEIRÃO CORRENTE	PLUVIOMET.	20° 38'S	47° 36'W

Os postos hidrométricos cujas entidades as quais pertencem não foram indicados, são da rede hidrográfica do Departamento de águas e Energia Elétrica (DAEE-SP).

As curvas cota (H) x vazão (Q) utilizadas neste estudo e que foram obtidas pela Divisão de Hidrografia do DAEE-SP são:

Equação	Limite	Período de Validade
$Q_1 = 13,2 \cdot (H-1,20)^{1,67}$		22/8/80-31/5/82
$Q_2 = 10,2 \cdot (H-1,20)^{1,26}$	$H \leq 1,73$	
		$Q_2$ após 1/11/86
$Q_2 = 13,2 \cdot (H-1,20)^{1,67}$	$1,73 < H$	

Nas equações das curvas cota x vazão apresentadas tem-se H em metros e Q em m<sup>3</sup>/s.

## **A.2 - BACIA DO RIBEIRÃO DO ENGENHO DA SERRA NO POSTO 4B-14R - BATATAIS**

Bacia hidrográfica com 178 Km<sup>2</sup>, localizada próxima a cidade de Batatais, cujo mapa é apresentado na figura A.3. O perfil longitudinal do talvegue principal é apresentado na figura A.4.

O solo é ocupado principalmente por campos, cerca de 70%; uma área com plantação de pinheiros que formam o horto florestal de Batatais, com cerca de 10%; uma pequena área urbanizada formada pela cidade de Batatais, com cerca de 5%; cerrados com cerca de 10% e o restante com café,.

Os postos hidrométricos, disponíveis e utilizados foram:

Prefixo	Nome	Tipo	Latitude	Longitude
4B-14R	BATATAIS	LINIGRAF.	20° 52'S	47° 32'W
B4-40R	BATATAIS	PLUVIOGRAF.	20° 53'S	47° 36'W
C4-39	ALTINÓPOLIS	PLUVIOMET.	21° 01'S	47° 23'W

As curvas cota (H) x vazão (Q) utilizadas neste estudo e que foram obtidas pela Divisão de Hidrografia do DAEE-SP são:

Equação	Limite	Período de validade
$Q_1 = 5,84 \cdot (H-1,29)^{1,36}$	$2,95 \geq H$	$Q_1$ de
$Q_1 = 6,90 \cdot (H-1,50)^{1,40}$	$4,30 \geq H > 2,95$	21/11/80-15/02/82
$Q_2 = 4,90 \cdot (H-2,0)^{2,94}$	$H > 4,30$	
$Q_2 = 2,51 \cdot (H-1,20)^{1,81}$	$2,96 \geq H$	$Q_2$ de
$Q_2 = 3,60 \cdot (H-1,50)^{1,75}$	$2,96 > H \geq 3,58$	16/02/82-20/04/83
$Q_2 = 4,90 \cdot (H-2,00)^{2,14}$	$H > 3,58$	
$Q_3 = 3,80 \cdot (H-1,20)^{1,80}$	$4,30 \geq H$	$Q_3$ após 21/04/83
$Q_3 = 4,90 \cdot (H-2,00)^{2,14}$	$H > 4,30$	

### A.3- BACIA DO RIBEIRÃO DA ESTIVA NO POSTO 4B-17R - GUARÁ

Bacia hidrográfica com 264 km<sup>2</sup>, tem seu mapa apresentado na figura A.5, localizada no município de Guarά. Na figura A.6 é apresentado o perfil longitudinal do talvegue principal da bacia.

A ocupação principal do solo é de fazendas com café é cerca de 35%; uma pequena área urbanizada formada pela cidade de Guarά, com cerca de 2%, e o restante ocupado por matas e florestas espalhadas pela bacia.

Os postos hidrométricos, disponíveis e utilizados foram:

Prefixo	Nome	Tipo	Latitude	Longitude
4B-17R	GUARÁ	LINIGRAF.	20° 25'S	47° 53'W
B4-35R	GUARÁ	PLUVIOMET.	20° 26'S	47° 49'W
B4-22	RIBEIRÃO CORRENTE	PLUVIOMET.	20° 38'S	47° 36'W
B4-21	S. JOSÉ DA BELA VISTA	PLUVIOMET.	20° 36'S	47° 38'W

As curvas cota (H) x vazão (Q) utilizadas neste estudo e que foram obtidas pela Divisão de Hidrologia do DAEE-SP são:

Equação	Limites	Período de Validade
$Q_1 = 11,3 \cdot (H-1,20)^{1,65}$	$H \leq 2,20$	após 27/07/81
$Q_1 = 11,3 \cdot (H-1,20)^{1,88}$	$2,20 < H$	

#### A.4 - BACIA DO RIO VERDE NO POSTO 3C-12R - ITObI

Bacia hidrográfica de 346 km<sup>2</sup>, localizada no município de Itobi, Vargem Grande do Sul e Casa Branca, cujo mapa é apresentado na figura A.7. Na figura A.8 é apresentado o perfil longitudinal do talvegue principal da bacia.

A principal ocupação do solo é de sítios e fazendas com vários tipos de cultura, cerca de 65%; uma pequena área urbanizada formada pelas cidades de Vargem Grande do Sul, Itobi e Casa Branca, que ocupa cerca de 2%; várzeas ao redor do talvegue, cerca de 3%, e o restante ocupado por matas e campos.

Os postos hidrométricos, disponíveis e utilizados foram:

Prefixo	Nome	Tipo	Latitude	Longitude
3C-12R	TOBI	LINIGRAF.	21° 43'S	46° 59'W

C4-72R	CASA BRANCA	PLUVIOGRAF.	21° 47'S	47° 04'W
C3-11	S.SEBAST. DA GRAMA	PLUVIOMET.	21° 43'S	46° 49'W
C4-26	LAGOA BRANCA	PLUVIOMET.	21° 54'S	47° 02'W
C3-9	VARGEM GDE DO SUL	PLUVIOMET.	21° 50'S	46° 54'W

As curvas cota x vazão utilizadas neste estudo e que foram obtidas pela Divisão de Hidrografia do DAEE-SP são:

Equação	Limites	Período de Validade
$Q_1 = 3,60 \cdot (H-0,50)^{1,64}$	$H \geq 1,15$	$Q_1$ de
$Q_1 = 12,40 \cdot (H-1,50)^{1,92}$	$H > 2,51$	12/08/80-26/01/87
$Q_1 = 4,15 \cdot (H-0,55)^{1,66}$	$2,51 \geq H > 1,15$	$Q_2$ de
$Q_2 = 3,40 \cdot (H-0,50)^{1,73}$	$1,30 \geq H$	
$Q_2 = 3,75 \cdot (H-0,55)^{1,69}$	$2,44 \geq H > 1,30$	27/01/87-11/07/89
$Q_2 = 12,40 \cdot (H-1,50)^{1,92}$	$H > 2,44$	

## A.5 - BACIA DO RIBEIRÃO DO RANCHO QUEIMADO NO POSTO 5C-31-R FAZENDA SANTA TEREZA

Bacia hidrográfica com 142 km<sup>2</sup>, localizada próxima à cidade de Araraquara, cujo mapa é apresentado na figura A.9. Na figura A.10 é apresentado o perfil longitudinal do talvegue principal da bacia.

A principal ocupação do solo é de fazendas e sítios, com predominância de culturas como laranja, café, e cana, com poucos campos.

Os postos hidrométricos, disponíveis e utilizados foram:

Prefixo	Nome	Tipo	Latitude	Longitude
5C-31R	FAZ.SANTA TEREZA	LINIGRAF.	21° 38'S	48° 05'W
C5-121R	FAZ. GIUSEPPE	PLUVIOGRAF.	21° 40'S	48° 11'W
C5-120	FAZ.SANTA TEREZA	PLUVIOMET.	21° 38'S	48° 05'W
C5-11	SANTA LÚCIA	PLUVIOMET.	21° 41'S	48° 05'W
C5-12	BUENO DE ANDRADE	PLUVIOMET.	21° 40'S	48° 15'W

As curvas cota (H) x vazão (Q) utilizadas foram:

Equação	Período de Validade
$Q_1 = 10,6 \cdot (H-0,40)^{1,06}$	06/07/85-22/12/86
$Q_2 = 7,43 \cdot (H-0,40)^{1,31}$	23/12/86-13/08/88
$Q_3 = 5,02 \cdot (H-0,40)^{1,34}$	14/08/88-18/01/90

## **A.6- BACIA DO RIBEIRÃO CLARO NO POSTO 8C-8R - FAZENDA RETIRO**

Bacia hidrográfica de 184 km<sup>2</sup>, localizada próxima as cidades de Mirandópolis e Lavínia, cujo mapa é apresentado na figura A.11. Na figura A.12 é apresentado o perfil longitudinal do talvegue principal da bacia.

A principal ocupação do solo é de mata rala, principalmente ao redor de Ribeirão Claro e seus afluentes, em cerca de 35% da área total; algumas áreas com florestas, cerca de 4%; uma pequena área urbanizada na cabeceira, das cidades de

Mirandópolis e Lavínia, cerca de 2%, e o restante ocupado por várias fazendas, cerca de 59%.

Os postos hidrométricos, disponíveis e utilizados foram:

Prefixo	Nome	Tipo	Latitude	Longitude
8C-8R	FAZENDA RETIRO	LINIGRAF.	21° 19'S	51° 12'W
C8-50R	TABAJARA	PLUVIOGRAF.	21° 17'S	51° 08'W
C8-58	MIRANDÓPOLIS	PLUVIOMÉTR.	21° 08'S	51° 06'W

As curvas cota (H) x vazão (Q) utilizadas foram:

Equação	Limites	Período de Validade
$Q_1 = 3,98 \cdot (H-0,30)^{1,29}$	$H \leq 1,43$	$Q_1$ de
$Q_1 = 2,75 \cdot (H)^{1,48}$	$1,43 < H \leq 1,56$	31/03/81-05/02/82
$Q_1 = 2,55 \cdot (H)^{1,65}$	$1,56 < H$	
$Q_2 = 2,56 \cdot (H)^{1,86}$	$H \leq 1,23$	$Q_2$ de
$Q_2 = 2,75 \cdot (H)^{1,48}$	$1,23 < H \leq 1,56$	10/03/82-07/05/84
$Q_2 = 2,55 \cdot (H)^{1,65}$	$1,56 < H$	
$Q_3 = 2,75 \cdot (H)^{1,48}$	$H \leq 1,56$	$Q_3$ de 06/06/84-19/11/86
$Q_3 = 2,55 \cdot (H)^{1,65}$	$1,56 < H$	

## A.7 - BACIA DO RIBEIRÃO DO MOINHO NO POSTO 8C-9R ANDRADINA/NOVA INDEPENDÊNCIA

Bacia hidrográfica de 398 km<sup>2</sup>, localizada próxima a cidade de Andradina, cujo mapa é apresentado na figura A.13. Na figura A.14 é apresentado o perfil longitudinal do talvegue principal da bacia.

A principal ocupação do solo é fazendas e sítios com culturas temporárias e campos, cerca de 95%, e o restante com cerrados e matas próximas ao ribeirão e no centro da bacia.

Os postos hidrométricos, disponíveis e utilizados foram:

Prefixo	Nome	Tipo	Latitude	Longitude
8C-9R	ANDRADINA	LINIGRAF.	21° 00'S	51° 25'W
B8-4R	ANDRADINA	PLUVIOGRAF.	20° 55'S	51° 22'W
C8-22	GUARAÇAI	PLUVIOMET.	21° 02'S	51° 29'W
C8-51	FAZ. BOA VISTA	PLUVIOMET.	21° 05'S	51° 20'W
C8-45	N. INDEPENDÊNCIA	PLUVIOMET.	21° 06'S	51° 29'W

As curvas cota-vazão utilizadas foram:

Equações	Limites	Período de Validade
$Q_1 = 2,00 \cdot (H+0,10)^{1,83}$	$H \leq 0,83$	Q <sub>1</sub> de  01/08/80-28/10/80
$Q_1 = 2,50 \cdot (H)^{1,92}$	$0,83 < H \leq 1,54$	
$Q_1 = 3,60 \cdot (H-0,30)^{2,15}$	$1,54 < H$	
$Q_2 = 1,90 \cdot (H+0,20)^{1,78}$	$H \leq 1,22$	Q <sub>2</sub> de



$Q_2 = 2,50 \cdot (H)^{1,92}$	$1,12 < H \leq 1,54$	29/10/80-08/01/84
$Q_2 = 3,60 \cdot (H-0,30)^{2,15}$	$1,54 < H$	
$Q_2 = 1,72 \cdot (H+0,30)^{1,59}$	$H \leq 1,74$	
$Q_3 = 1,70 \cdot (H+0,30)^{1,90}$	$1,74 < H \leq 1,31$	Q <sub>3</sub> de 09/01/84-18/07/88
$Q_3 = 2,50 \cdot (H)^{1,92}$	$1,31 < H \leq 1,54$	
$Q_3 = 3,60 \cdot (H-0,30)^{2,15}$	$1,54 < H$	
$Q_4 = 3,40 \cdot (H-0,55)^{1,05}$	$H \leq 1,95$	Q <sub>4</sub> após 25/01/90
$Q_4 = 3,60 \cdot (H-0,80)^{2,15}$	$1,95 < H$	

## A.8- BACIA DO RIO PIRACUAMA NO POSTO 2D-54R - FAZENDA KANEGAI

Bacia hidrográfica de 161 km<sup>2</sup>, localizada nos municípios de Pindamonhangaba e Tremembé, cujo mapa é apresentado na figura A.15. Na figura A.16 é apresentado o perfil longitudinal do talvegue principal da bacia.

A principal ocupação do solo é de florestas, com cerca de 50%; campos e pastagens, com cerca de 40%, e o restante ocupado por algumas fazendas.

Os postos hidrométricos, disponíveis e utilizados foram:

Prefixo	Nome	Tipo	Latitude	Longitude
2D-54R	FAZ.KANEGAI	LINIGRÁF.	22° 54'S	45° 36'W
D2-14M	CAMPO DE PESQUISA	PLUVIOGRÁF.	22° 54 S	45° 26'W

D2-98	FAZ. ÁGUA LIMPA	PLUVIOMÉT.	22° 55'S	45° 38'W
D2-67	PIRACUAMA	PLUVIOMÉT.	22° 51'S	45° 35'W
D2-68	PICO DO ITAPEVA	PLUVIOMÉT.	22° 46'S	45° 31'W
D2-4	EUGÊNIO LEFEVRE	PLUVIOMÉT.	22° 50'S	45° 38'W

As curvas cota-vazão utilizadas foram:

Equações	Limites	Período de Validade
$Q_1 = 7,621 (H-0,4)^{1,307}$	$H \leq 0,837$	$Q_1$ de
$Q_1 = 23,55 (H-0,5)^{2,032}$	$0,837 < H$	26/11/69-30/10/72
$Q_2 = 7,621 (H-0,4)^{1,307}$	$H \leq 0,725$	$Q_2$ de
$Q_2 = 21,135 (H-0,5)^{1,667}$	$0,725 < H \leq 1,243$	01/11/72-31/03/74
$Q_2 = 23,55 (H-0,5)^{2,032}$	$1,243 < H$	
$Q_3 = 7,621 (H-0,4)^{1,307}$	$H \leq 0,672$	$Q_3$ de
$Q_3 = 25,235 (H-0,5)^{1,65}$	$0,672 < H$	01/04/74-31/08/74
$Q_4 = 7,621 (H-0,4)^{1,307}$	$H \leq 0,625$	$Q_4$ de
$Q_4 = 18,621 (H-0,5)^{1,367}$	$0,625 < H \leq 0,842$	01/09/74-31/12/75
$Q_4 = 25,235 (H-0,5)^{1,65}$	$0,842 < H$	
$Q_5 = 10,99 (H)^{1,723}$		$Q_5$ de 01/01/77-31/08/78
$Q_6 = 10,5 (H)^{1,428}$	$H \leq 0,84$	$Q_6$ de
$Q_6 = 10,99 (H)^{1,723}$	$0,84 < H$	01/09/78-13/08/79
$Q_7 = 15,25 (H-0,40)^{1,19}$	$H \leq 0,87$	$Q_7$ de
$Q_7 = 15,70 (H-0,40)^{1,22}$	$0,87 < H$	14/08/79-08/12/81
$Q_8 = 15,30 (H-0,30)^{1,23}$		$Q_8$ de 09/12/81-26/03/82
$Q_9 = 14,8 (H-0,25)^{1,16}$	$H \leq 1,55$	$Q_9$ de
$Q_9 = 15,3 (H-0,30)^{1,23}$	$1,55 < H$	27/03/82-29/05/83

$Q_{10} = 9,7 (H)^{1,19}$	$H \leq 0,38$	$Q_{10}$ de
$Q_{10} = 13,5 (H-0,05)^{1,31}$	$0,38 < H$	30/05/83-26/09/84
$Q_{11} = 13,0 (H+0,10)^{1,37}$		$Q_{11}$ de 27/09/84-14/02/85
$Q_{12} = 9,70 (H-0,99)^{1,19}$	$H \leq 1,41$	$Q_{12}$ de
$Q_{12} = 13,15 (H-1,05)^{1,31}$	$1,41 < H$	15/02/85-31/12/86

## A.9- BACIA DO RIO PIRAPITINGUI NO POSTO 2D-59R - PIRAPITINGUI

Bacia hidrográfica de 67 km<sup>2</sup>, localizada nos municípios de Roseira e Moreira César, cujo mapa é apresentado na figura A.17. Na figura A.18 é apresentado o perfil longitudinal do talvegue principal da bacia.

A principal ocupação do solo é de fazendas e campos com cerca de 75%, florestas com cerca de 20% e o restante macega e mata rala.

Os postos hidrométricos, disponíveis são:

Prefixo	Nome	Tipo	Latitude	Longitude
2D-59R	PIRAPITINGUI	LINIGRÁF.	22° 56'S	45° 19'W
D2-65R	BONFIM	PLUVIOGRÁF.	22° 57'S	45° 15'W
D2-60	FAZ. SÃO JOÃO	PLUVIOMÉT.	22° 56'S	45° 19'W
D2-74	HORTO FLORESTAL	PLUVIOMÉT.	22° 59'S	45° 23'W

As curvas cota-vazão utilizadas foram:

Equações	Limites	Período de Validade
$Q_1 = 2,20 (H)^{1,72}$	$H \leq 1,75$	01/01/68-31/01/74
		e de
$Q_1 = 1,78 (H)^{2,10}$	$1,75 < H$	01/12/74-31/01/77

$Q_2 = 2,06 (H)^{1,83}$	$H \leq 1,72$	01/02/74-30/11/74 e de
$Q_2 = 1,78 (H)^{2,10}$	$1,72 < H$	11/02/79-12/07/80
$Q_3 = 1,85 (H)^{1,80}$	$H < 1,14$	01/02/77-10/02/79 e de
$Q_3 = 1,78 (H)^{2,10}$	$1,14 < H$	13/07/80-31/12/80
$Q_4 = 1,78 (H)^{2,10}$		01/12/80-30/11/81
$Q_5 = 1,40 (H)^{1,94}$	$H \leq 2,05$	$Q_5$ de
$Q_5 = 1,00 (H)^{2,41}$	$2,05 < H$	01/12/81-30/09/82
$Q_6 = 1,10 (H)^{1,87}$	$H < 1,20$	$Q_6$ de
$Q_6 = 1,00 (H)^{2,41}$	$1,20 < H$	01/10/82-16/08/83

## A.10 - BACIA DO RIBEIRÃO PALMITAL - NO POSTO 2D-61R - PITÉU

Bacia hidrográfica de 38 km<sup>2</sup>, localizada no município de Cachoeira Paulista, cujo mapa é apresentado na figura A.19. Na figura A.20 é apresentado o perfil longitudinal do talvegue principal da bacia.

A ocupação principal do solo é de fazendas com campos (pastos) com cerca de 85%, algumas florestas (10%) e culturas ribeirinhas.

Os postos hidrométricos, disponíveis são:

Prefixo	Nome	Tipo	Latitude	Longitude
2D-61R	PITÉU	LINIGRÁF.	22° 40'S	45° 01'W
D2-13R	CACH. PAULISTA	PLUVIOGRÁF.	22° 40'S	45° 01'W
D1-21	USINA BOCAINA	PLUVIOMÉTR.	22° 44'S	44° 55'W
D2-97	FAZ.CERRO ALTO	PLUVIOMÉTR.	22° 49'S	45° 01'W

As curvas cota-vazão utilizadas foram:

Equações	Limites	Período de Validade
$Q_1 = 1,67 (H-0,1)^{1,639}$	$H \leq 1,42$	$Q_1$ de
$Q_1 = 2,52 (H-0,4)^{2,381}$	$1,42 < H$	01/07/73-02/01/76
$Q_2 = 1,65 (H-0,1)^{1,389}$	$H \leq 1,05$	$Q_2$ de
$Q_2 = 1,67 (H-0,1)^{1,639}$	$1,05 < H \leq 1,42$	03/01/76-05/12/76
$Q_2 = 2,52 (H-0,4)^{2,381}$	$1,42 < H$	$Q_3$ de
$Q_3 = 1,67 (H-0,1)^{1,639}$	$H \leq 1,42$	06/12/76-15/07/77
$Q_3 = 2,52 (H-0,1)^{2,381}$	$1,42 < H$	$Q_4$ de
$Q_4 = 1,65 (H-0,1)^{1,389}$	$H \leq 1,05$	16/07/77-01/12/77
$Q_4 = 1,67 (H-0,1)^{1,639}$	$1,05 < H \leq 1,42$	$Q_5$ de
$Q_4 = 2,52 (H-0,4)^{2,381}$	$1,42 < H$	02/12/77-31/05/79
$Q_5 = 0,88 (H-0,1)^{1,111}$	$H \leq 0,40$	$Q_6$ de
$Q_5 = 1,67 (H-0,1)^{1,639}$	$0,40 < H \leq 1,42$	01/06/79-10/03/80
$Q_5 = 2,52 (H-0,4)^{2,381}$	$1,42 < H$	$Q_7$ de
$Q_6 = 0,95 (H-0,1)^{1,36}$	$H \leq 1,30$	11/03/80-05/09/81
$Q_6 = 1,70 (H-0,5)^{2,326}$	$1,30 < H$	06/09/81-03/02/84;
$Q_7 = 0,65 (H)^{1,667}$	$H \leq 1,30$	01/05/85-04/06/85
$Q_7 = 1,70 (H-0,5)^{2,326}$	$1,30 < H$	
$Q_8 = 0,58 (H)^{1,786}$	$H \leq 1,25$	

		e de
$Q_8 = 1,70 (H-0,5)^{2,326}$	$1,25 < H$	23/08/85-31/12/85
$Q_9 = 0,48 (H)^{1,818}$	$H \leq 1,15$	04/02/84-03/11/84
		e de
$Q_9 = 1,70 (H-0,5)^{2,326}$	$1,15 < H$	05/06/85-22/08/85
$Q_{10} = 0,65 (H)^{1,667}$	$H \leq 1,30$	$Q_{10}$ de
$Q_{10} = 1,70 (H-0,5)^{2,326}$	$1,30 < H$	04/11/84-30/04/85

## A.11 - BACIA DO RIBEIRÃO GUAÍÚ NO POSTO 3E-110R - POÁ

Bacia hidrográfica de 66 km<sup>2</sup>, localizada nos municípios de Poá, Suzano e Ferraz de Vasconcelos, cujo mapa é apresentado na figura A.21. Na figura A.22 é apresentado o perfil longitudinal do talvegue principal da bacia.

A ocupação principal do solo é de sítios e fazendas de várias culturas com cerca de 70% (incluindo algumas olarias), uma pequena área urbanizada a jusante do posto fluviográfico com cerca de 15% da área total e o restante ocupado por pedreiras.

Os postos hidrométricos, disponíveis são:

Prefixo	Nome	Tipo	Latitude	Longitude
3E-110R	POÁ	LINIGRAF.	23° 33'S	46° 20'W
E3-148R	MAUÁ	PLUVIOGRAF.	23° 40'S	46° 28'W
E3-114	SUZANO	PLUVIOMET.	23° 33'S	46° 17'W
E3-224	FAZ SERTÃO	PLUVIOMET.	23° 41'S	46° 18'W
E3-239	GUAPITUBA	PLUVIOMET.	23° 42'S	46° 27'W
E3-240	ITAQUERA	PLUVIOMET.	23° 33'S	46° 26'W

As curvas cota-vazão utilizadas foram:

Equações	Limites	Período de Validade
$Q_1 = 0,65 (H-0,40)^{1,65}$	$H \leq 1,29$	01/07/80-16/06/82;
$Q_1 = 2,17 (H-0,90)^{1,49}$	$1,29 < H \leq 2,061$	19/02/83-24/09/83;
$Q_1 = 16.63 (H-1,80)^{1,35}$	$2,061 < H$	27/01/84-24/01/85;
$Q_2 = 0,86 (H-0,60)^{2,10}$	$H \leq 1,40$	17/06/82-18/02/83;
$Q_2 = 2,28 (H-1.00)^{1,57}$	$1,40 < H \leq 2,04$	25/09/83-26/01/84;
e de		
$Q_2 = 16.63 (H-1,80)^{1,35}$	$2,04 \leq H$	25/01/85-30/09/87;

## A.12- BACIA DO RIO EMBÚ-GUAÇÚ NO POSTO 3E-111R - EMBÚ-GUAÇÚ

Bacia hidrográfica de 129.4 km<sup>2</sup>, localizada no município de Embú-Guaçú, cujo mapa é apresentado na figura A.23. Na figura A.24 é apresentado o perfil longitudinal do talvegue principal da bacia.

A ocupação principal do solo é de macega com aproximadamente 90%, sendo o restante coberto por mata atlântica com cerca de 3% em alguns pontos do divisor de águas, e algumas olarias e sítios com 7%.

Os postos hidrométricos, disponíveis são:

Prefixo	Nome	Tipo	Latitude	Longitude
3E-111R	EMBÚ-GUAÇÚ	LINIGRÁF.	23° 50'S	46° 48'W
E3-68R	SÍTIO STO.ANT.BIGURA	PLUVIOGRAF.	23° 46'S	46° 50'W
E3-254	EMBURRA	PLUVIOMÉTR.	23° 53'S	46° 45'W
E3-259	CIPÓ	PLUVIOMÉTR.	23° 53'S	46° 48'W

E3-261	TERRAS DE STA. ROSA	PLUVIOMÉTR.	23° 57'S	46° 48'W
F3-8	BANAUREA	PLUVIOMÉTR.	24° 02'S	46° 45'W

As curvas cota-vazão utilizadas foram:

Equações	Limites	Período de Validade
$Q_1 = 5,20 (H-0,08)^{0,943}$	$H \leq 0,31$	$Q_1$ de
$Q_1 = 6,65 (H-0,08)^{1,11}$	$0,31 < H$	03/08/81-20/01/87

### **A.13- BACIA DO RIO SÃO JOÃO DO BARUERÍ NO POSTO 3E-113R - CAPITÓLIO**

Bacia hidrográfica de 135 km<sup>2</sup>, localizada nos municípios de Jandira, Itapui e São João Novo, cujo mapa é apresentado na figura A.25. Na figura A.26 é apresentado o perfil longitudinal do talvegue principal da bacia.

A ocupação principal do solo é sítios e chácaras com cerca de 60%, uma área urbanizada a jusante do posto fluviométrico formada pelas cidades de Jandira, Itapui e São João Novo com cerca de 35% e o restante por matas.

Os postos hidrométricos, disponíveis são:

Prefixo	Nome	Tipo	Latitude	Longitude
3E-113R	CAPITÓLIO	LINIGRÁF.	23° 31'S	46° 53'W
E3-34R	CACH. DA GRAÇA	PLUVIOGRÁF.	23° 39'S	46° 57'W
E3-31	BAIXO COTIA	PLUVIOMÉTR.	23° 33'S	46° 52'W
E3-13	ROSELÂNDIA	PLUVIOMÉTR.	23° 34'S	46° 56'W
E3-263(após86)	AMADOR BUENO	PLUVIOMÉTR.	23° 32'S	46° 59'W
E4-129(antes86)	ARACARIGUAMA	PLUVIOMÉTR.	23° 36'S	47° 04'W



As curvas cota-vazão utilizadas foram:

Equações	Limites	Período de Validade
$Q_1 = 5,40 (H-1,10)^{1,64}$	$H \leq 1,64$	$Q_1$ de
$Q_1 = 8,00 (H-1,20)^{1,83}$	$1,64 < H$	28/09/82-31/12/83
$Q_2 = 8,00 (H-0,90)^{1,92}$	$H \leq 1,83$	$Q_2$ de
$Q_2 = 15,7 (H-1,20)^{1,77}$	$1,83 < H$	01/01/84-02/02/87
$Q_3 = 9,30 (H-0,90)^{1,86}$	$H \leq 2,12$	$Q_3$ de
$Q_3 = 15,70 (H-1,20)^{1,77}$	$2,12 < H$	03/02/87-22/05/88
$Q_4 = 11,0 (H-0,95)^{1,92}$	$H \leq 2,70$	$Q_4$ após 25/06/88
$Q_4 = 15,7 (H-1,20)^{1,77}$	$2,70 < H$	

#### A.14 - BACIA DO RIO JUQUIÁ NO POSTO 4E-25R - ROSAS

Bacia hidrográfica de 130 km<sup>2</sup>, localizada no município de Juquitiba, cujo mapa é apresentado na figura A.27. Na figura A.28 é apresentado o perfil longitudinal do talvegue principal da bacia.

A ocupação principal do solo é de florestas (Reserva florestal do Estado) com 100%.

Os postos hidrométricos, disponíveis são:

Prefixo	Nome	Tipo	Latitude	Longitude
4E-25R	ROSAS	LINIGRÁF.	23° 59'S	47° 00'W
FR-45R	ILHA DOS PAULISTAS	PLUVIOGRÁF.	24° 04'S	47° 01'W
E4-139	ROSAS	PLUVIOMÉTR.	23° 59'S	47° 00'W
E3-258	BELVEDERE	PLUVIOMÉTR.	23° 58'S	46° 54'W

E3-261	TERRAS DE STA. ROSA	PLUVIOMÉTR.	23° 57'S	46° 48'W
E3-257	SANTA RITA	PLUVIOMÉTR.	23° 56'S	46° 54'W

As curvas cota-vazão utilizadas foram:

Equações	Limites	Período de Validade
$Q_1 = 7,05 (H-1,10)^{1,67}$		09/08/90-01/03/86
$Q_2 = 7,50 (H-1,10)^{1,55}$	$H \leq 2,77$	$Q_2$ de
$Q_2 = 7,05 (H-1,10)^{1,67}$	$2,77 < H$	02/03/86-11/89

## A.15 - BACIA DO RIO DO QUILOMBO NO POSTO 4F-38R - QUILOMBO

Bacia hidrográfica de 270 km<sup>2</sup>, localizada no município de Sete Barras, cujo mapa é apresentado na figura A.29. Na figura A.30 é apresentado o perfil longitudinal do talvegue principal da bacia.

A ocupação principal do solo é de florestas que constituem a reserva florestal de Sete Barras com cerca de 80%, várzeas com cerca de 10% e o restante com cultura de banana e outras de subsistência.

Os postos hidrométricos disponíveis são:

Prefixo	Nome	Tipo	Latitude	Longitude
4F-38R	QUILOMBO	LINIGRÁF.	24° 20'S	47° 55'W
F4-25R	RIB. DA SERRA	PLUVIOGRÁF.	24° 17'S	47° 57'W
F4-56	MAMPARRA	PLUVIOMÉTR.	24° 12'S	47° 55'W
F5-40	SERTÃO DO PARANAPANEMA	PLUVIOMÉTR.	24° 08'S	48° 11'W
F5-35	TREVO DO ETA	PLUVIOMÉTR.	24° 23'S	48° 04'W
F4-31	TAQUARAL	PLUVIOMÉTR.	24° 03'S	48° 00'W

As curvas cota-vazão utilizadas foram:

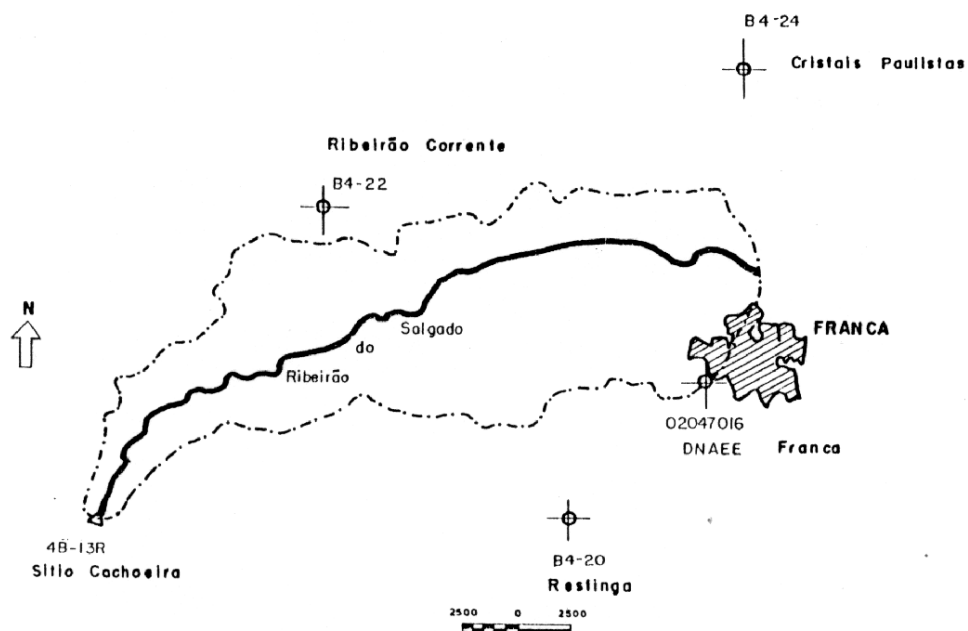
Equações	Limites	Período de Validade
$Q_1 = 9,35 (H-0,6)^{1,13}$	$H \leq 3,031$	11/04/81-19/08/87
$Q_1 = 19,03 (H-1,80)^{1,41}$	$3,031 < H$	Pode-se usar até 07/88

Até o final do trabalho, faremos a atualização das equações do apêndice 1.

A seguir, as figuras de I a XV representam os mapas das bacias que acabamos de mencionar os dados físicos e de XVI a XXX os seus respectivos perfis longitudinais dos talwegues principais das bacias.

## **APÊNDICE - B**

### **MAPAS DAS 15 BACIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO E O POSICIONAMENTO DOS POSTOS PLUVIOMÉTRICOS, PLUVIOGRÁFICOS E FLUVIOGRÁFICOS**



ÁREA DE DRENAGEM DA BACIA  
A MONTANTE DO POSTO: 259 km<sup>2</sup>

FIGURA A.1

POSTO 4B-13R SÍTIO CACHOEIRA  
7ª ZONA HIDROGRÁFICA  
RIBEIRÃO DO SALGADO  
MAPA DA BACIA

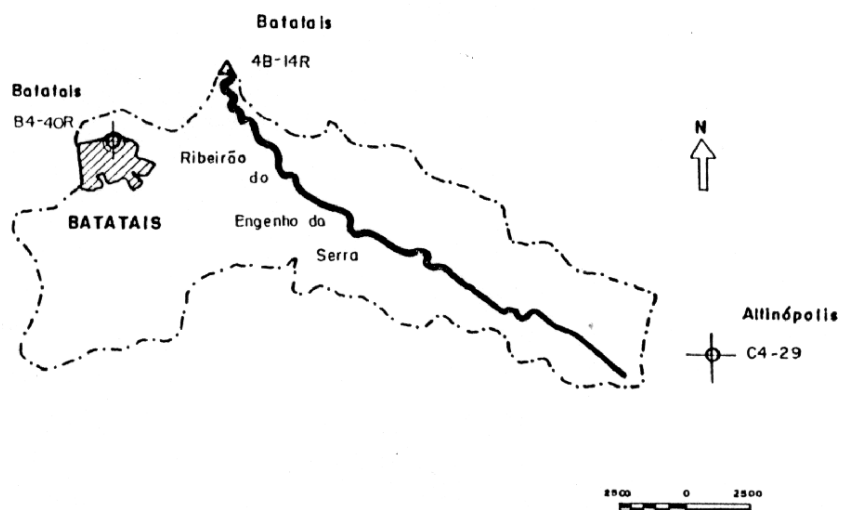
#### LEGENDA

--- LIMITE DA BACIA ESTUDADA

⊕ POSTO PLUVIOMÉTRICO




⊗ POSTO PLUVIOGRÁFICO

⌒ POSTO FLUVIOGRÁFICO

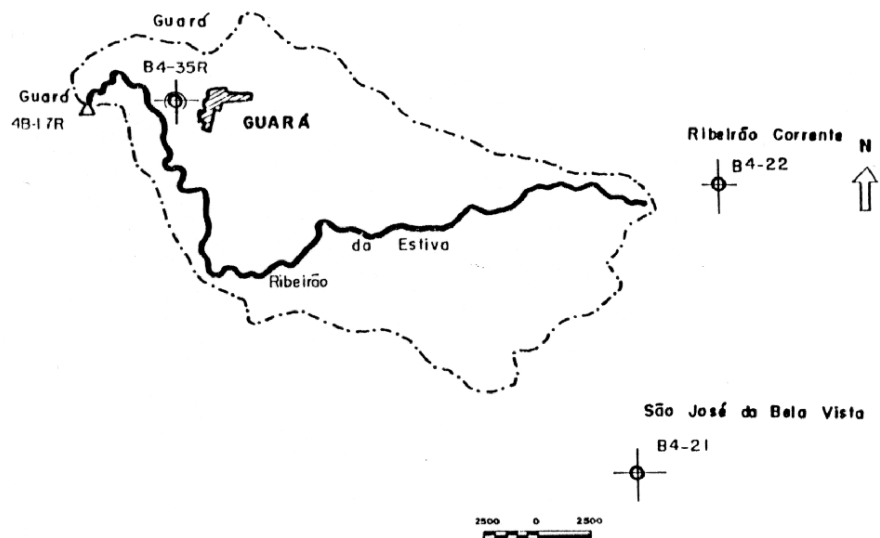


#### LEGENDA

----- LIMITE DA BACIA ESTUDADA

-  POSTO PLUVIOMÉTRICO
-  POSTO PLUVIOGRÁFICO
-  POSTO FLUVIOGRÁFICO




ÁREA DE DRENAGEM DA BACIA  
A MONTANTE DO POSTO: 178 km<sup>2</sup>  
FIGURA A.2  
POSTO 4B-14R BATATAIS  
7ª ZONA HIDROGRÁFICA  
RIBEIRÃO DO ENGENHO DA SERRA  
MAPA DA BACIA

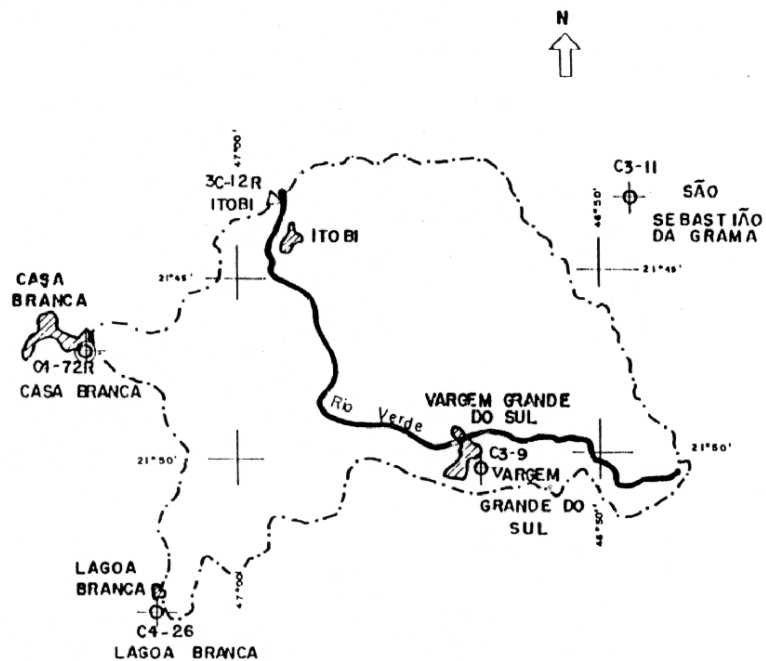


ÁREA DE DRENAGEM DA BACIA  
A MONTANTE DO POSTO: 264 Km<sup>2</sup>  
FIGURA A.3  
POSTO 4B-17R GUARÁ  
7ª ZONA HIDROGRÁFICA  
RIBEIRÃO DA ESTIVA  
MAPA DA BACIA

#### LEGENDA

--- LIMITE DA BACIA ESTUDADA

-  POSTO PLUVIOMÉTRICO
-  POSTO PLUVIOGRÁFICO
-  POSTO FLUVIOGRÁFICO



ÁREA DE DRENAGEM DA BACIA  
A MONTANTE DO POSTO: 346 Km<sup>2</sup>

FIGURA A.4

#### LEGENDA

--- LIMITE DA BACIA ESTUDADA

⊙ POSTO PLUVIOMÉTRICO

⊗ POSTO PLUVIOGRÁFICO

Δ POSTO FLUVIOGRÁFICO

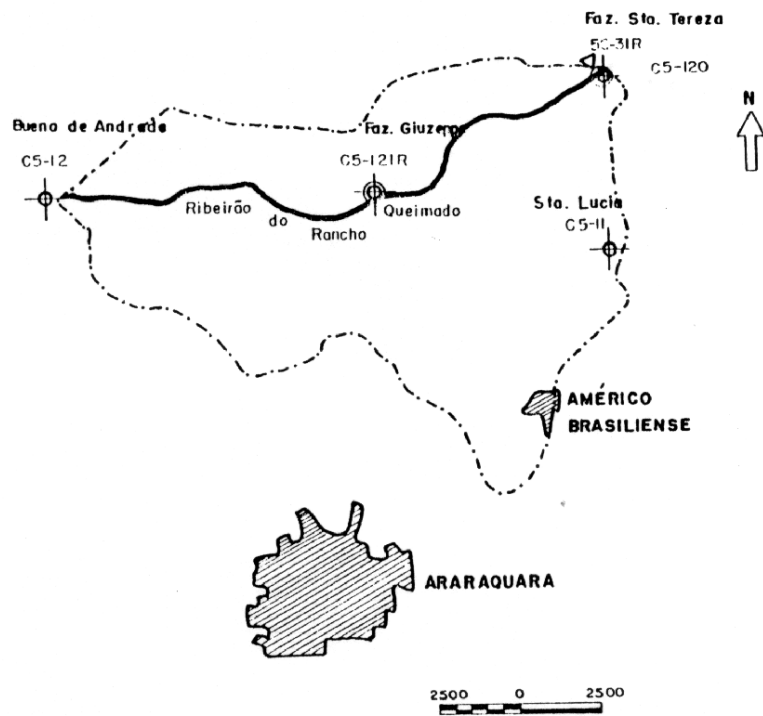
POSTO 3C-12R ITOBI

7ª ZONA HIDROGRÁFICA

RIO VERDE

MAPA DA BACIA





#### LEGENDA

----- LIMITE DA BACIA ESTUDADA

⊕ POSTO PLUVIOMÉTRICO

⊕ POSTO PLUVIOGRÁFICO

Δ POSTO FLUVIOGRÁFICO

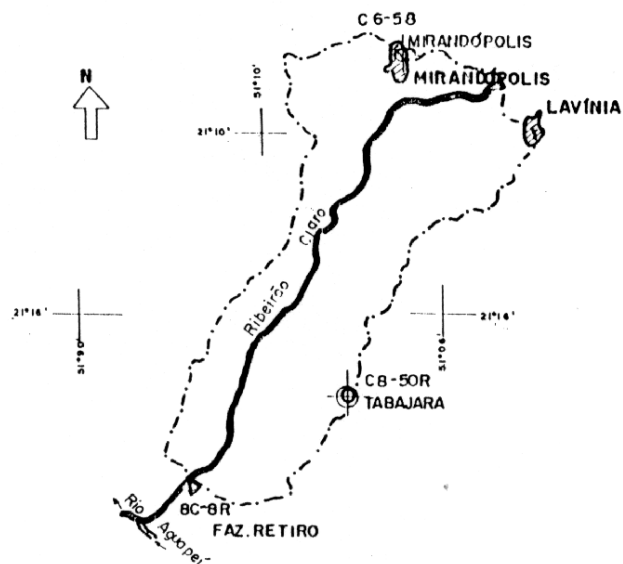
ÁREA DE DRENAGEM DA BACIA  
A MONTANTE DO POSTO: 142 Km<sup>2</sup>

FIGURA A.5

POSTO 5C-31R FAZ. STA. TEREZA  
7ª ZONA HIDROGRÁFICA

RIBEIRÃO DO RANCHO QUEIMADO

MAPA DA BACIA



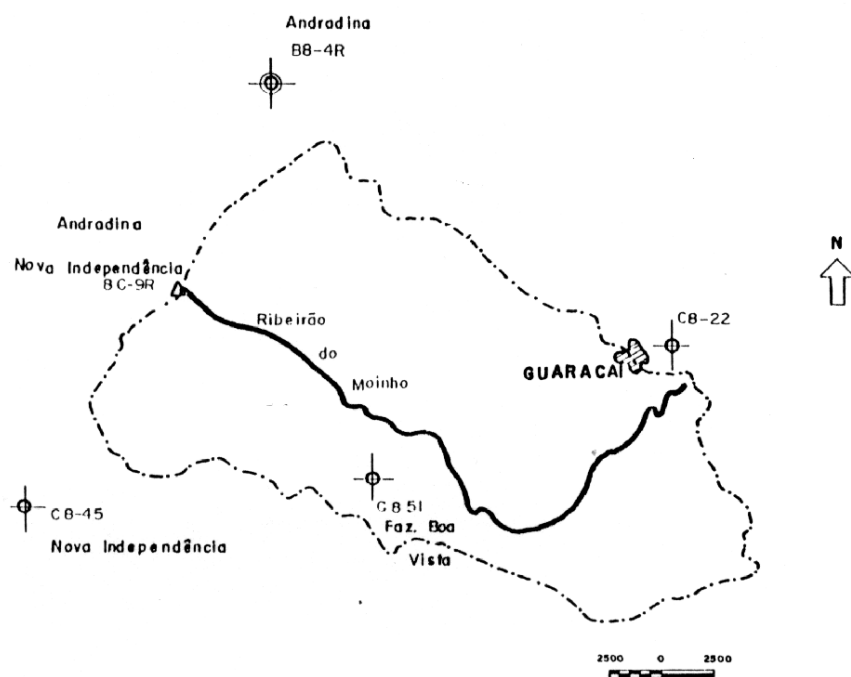
ÁREA DE DRENAGEM DA BACIA  
A MONTANTE DO POSTO: 184 Km<sup>2</sup>

FIGURA A.6

POSTO 8C-8R FAZENDA RETIRO  
3ª ZONA HIDROGRÁFICA  
RIBEIRÃO CLARO  
MAPA DA BACIA

- LIMITE DA BACIA ESTUDADA
- ⊕ POSTO PLUVIOMÉTRICO
- ⊙ POSTO PLUVIOGRÁFICO
- ⚡ POSTO FLUVIOGRÁFICO

500 0 5000 10000m



#### LEGENDA

----- LIMITE DA BACIA ESTUDADA

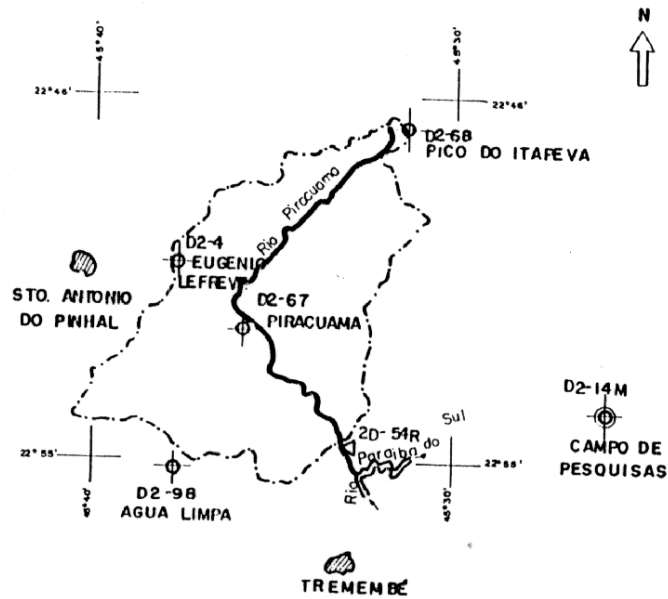
⊙ POSTO PLUVIOMÉTRICO

⊙ POSTO PLUVIOGRÁFICO

⋈ POSTO FLUVIOGRÁFICO

ÁREA DE DRENAGEM DA BACIA  
A MONTANTE DO POSTO: 398 Km<sup>2</sup>  
FIGURA A.7

POSTO B.C.-9R ANDRADINA NOVA  
INDEPENDÊNCIA  
2ª ZONA HIDROGRÁFICA  
RIBEIRÃO DO MOINHO  
MAPA DA BACIA



ÁREA DE DRENAGEM DA BACIA  
A MONTANTE DO POSTO: 161 Km<sup>2</sup>  
FIGURA A.8



#### LEGENDA

--- LIMITE DA BACIA ESTUDADA

○ POSTO PLUVIOMÉTRICO

⊙ POSTO PLUVIOGRÁFICO

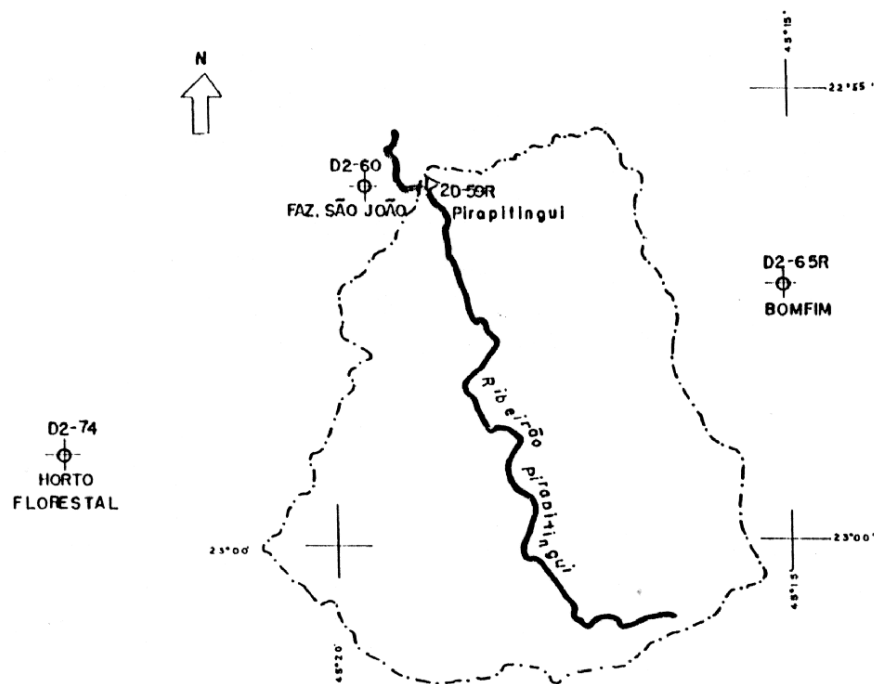
⚡ POSTO FLUVIOGRÁFICO

POSTO 2D-54R FAZ. KANEGAI

6ª ZONA HIDROGRÁFICA

RIO PIRACUAMA




MAPA DA BACIA



ÁREA DE DRENAGEM DA BACIA  
A MONTANTE DO POSTO: 67 km<sup>2</sup>  
FIGURA A.9

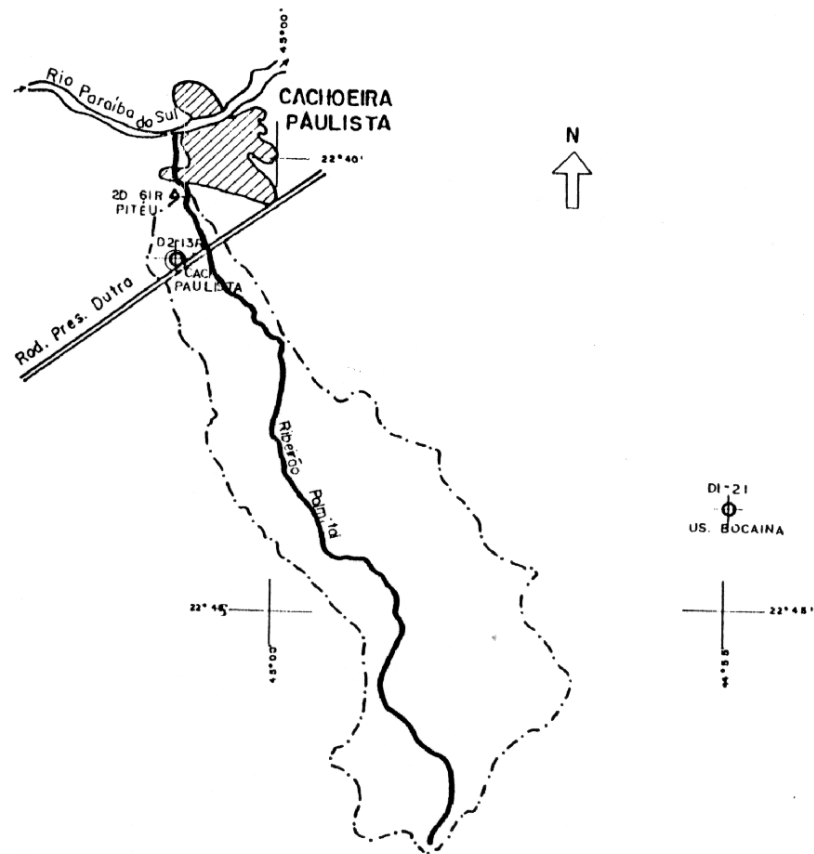
LEGENDA

----- LIMITE DA BACIA ESTUDADA

-  POSTO PLUVIOMÉTRICO
-  POSTO PLUVIOGRÁFICO
-  POSTO PLUVIOGRÁFICO

1000 0 1000 2000 3000

POSTO 2D- 59R PIRAPITINGUI  
6<sup>a</sup> ZONA HIDROGRÁFICA  
RIBEIRÃO PIRAPITINGUI  
MAPA DA BACIA



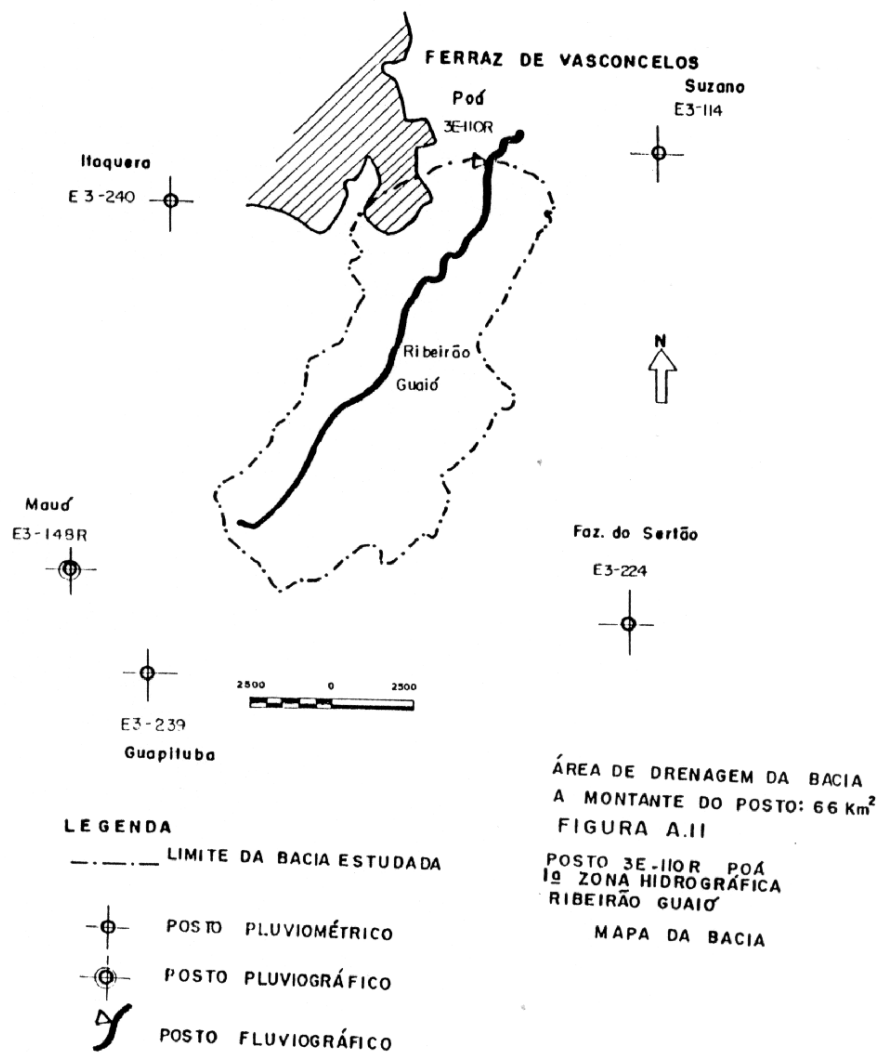
ÁREA DE DRENAGEM DA BACIA  
A MONTANTE DO POSTO: 38 Km<sup>2</sup>  
FIGURA A.10

1000 0 1000 2000 3000 m

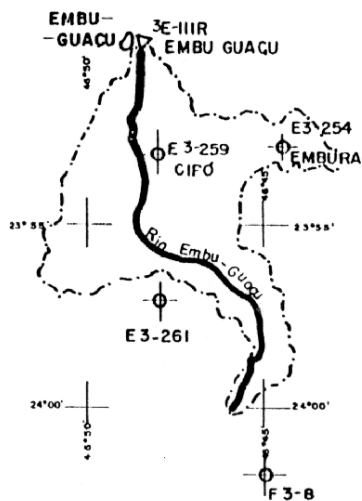
#### LEGENDA

- LIMITE DA BACIA ESTUDADA
- ⊙ POSTO PLUVIOMÉTRICO
- ⊕ POSTO PLUVIOGRÁFICO
- ⚡ POSTO FLUVIOGRÁFICO

POSTO 2D-61R PITÉU  
6ª ZONA HIDROGRÁFICA  
RIBEIRÃO PALMITAL  
MAPA DA BACIA



E3-68R  
SÍTIO STO. ANTÔNIO  
DO BIGUÁ



ÁREA DE DRENAGEM DA BACIA  
A MONTANTE DO POSTO: 129,4 Km<sup>2</sup>  
FIGURA A.12

5000 0 5000 10000 m

LEGENDA

--- LIMITE DA BACIA ESTUDADA

⊙ POSTO PLUVIOMÉTRICO

⊙ POSTO PLUVIOGRÁFICO

⊙ POSTO FLUVIOGRÁFICO

POSTO 3E-IIIIR EMBU-GUAÇU

1ª ZONA HIDROGRÁFICA

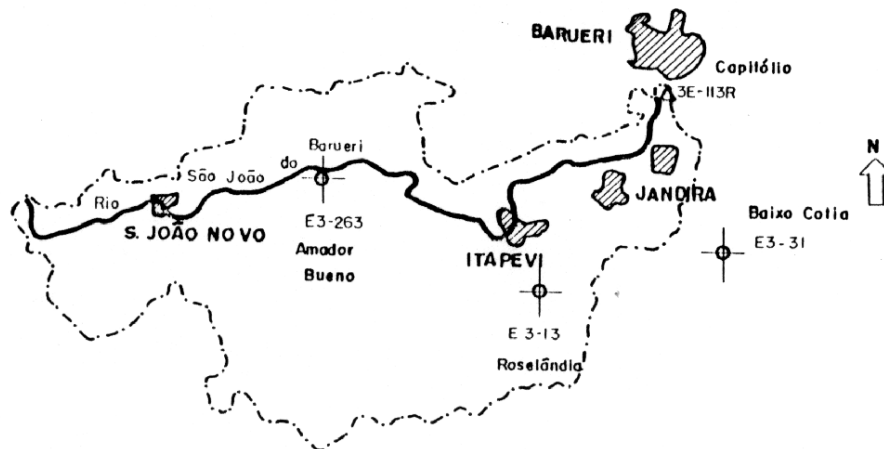
RIO EMBU-GUAÇU

MAPA DA BACIA



Aracariquema

E4-129



2500 0 2500

E3-34R  
Cachoeira da  
Graça

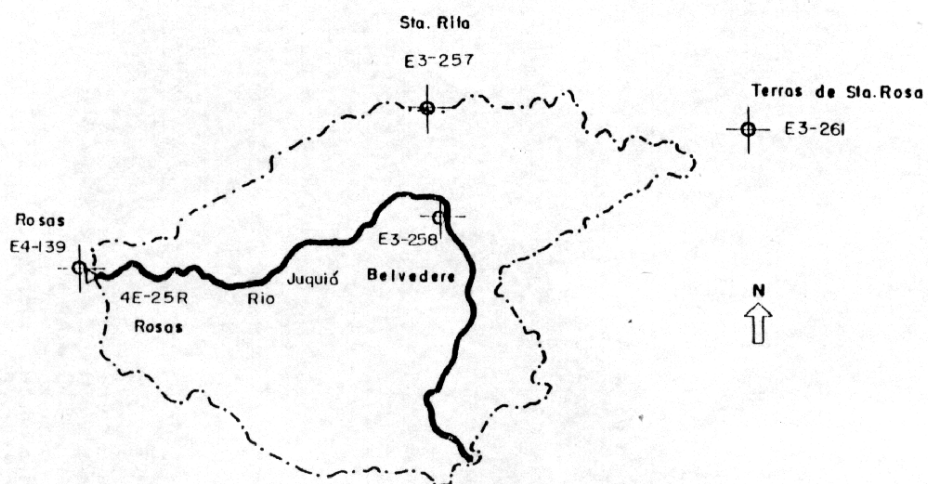
# LEGENDA

----- LIMITE DA BACIA ESTUDADA

- POSTO PLUVIOMÉTRICO
- POSTO PLUVIOGRÁFICO
- POSTO FLUVIOGRÁFICO

ÁREA DE DRENAGEM DA BACIA  
A MONTANTE DO POSTO: 135 Km<sup>2</sup>  
FIGURA A.13

POSTO 3E-113R CAPITÓLIO  
1ª ZONA HIDROGRÁFICA  
RIO SÃO JOÃO DO BARUERI  
MAPA DA BACIA



F4-45R

Ilha dos

Paulistas

2500 0 2500

#### LEGENDA

----- LIMITE DA BACIA ESTUDADA

⊙ POSTO PLUVIOMÉTRICO

⊙ POSTO PLUVIOGRÁFICO

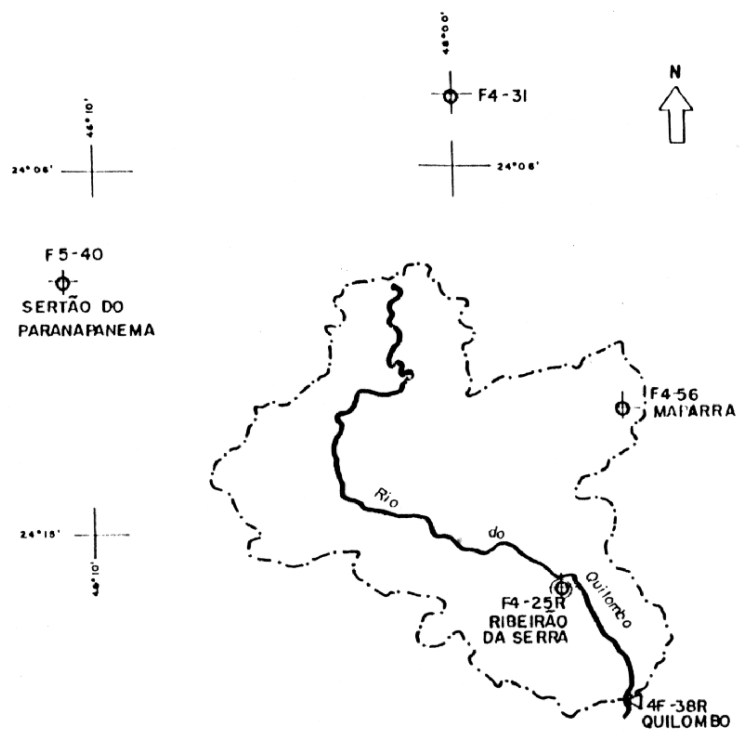
⚡ POSTO FLUVIOGRÁFICO

ÁREA DE DRENAGEM DA BACIA  
A MONTANTE DO POSTO: 130 Km<sup>2</sup>

FIGURA A.14

POSTO 4E-25R ROSAS  
5ª ZONA HIDROGRÁFICA  
RIO JUQUIÁ

MAPA DA BACIA



ÁREA DE DRENAGEM DA BACIA  
A MONTANTE DO POSTO: 270 Km<sup>2</sup> F5-35

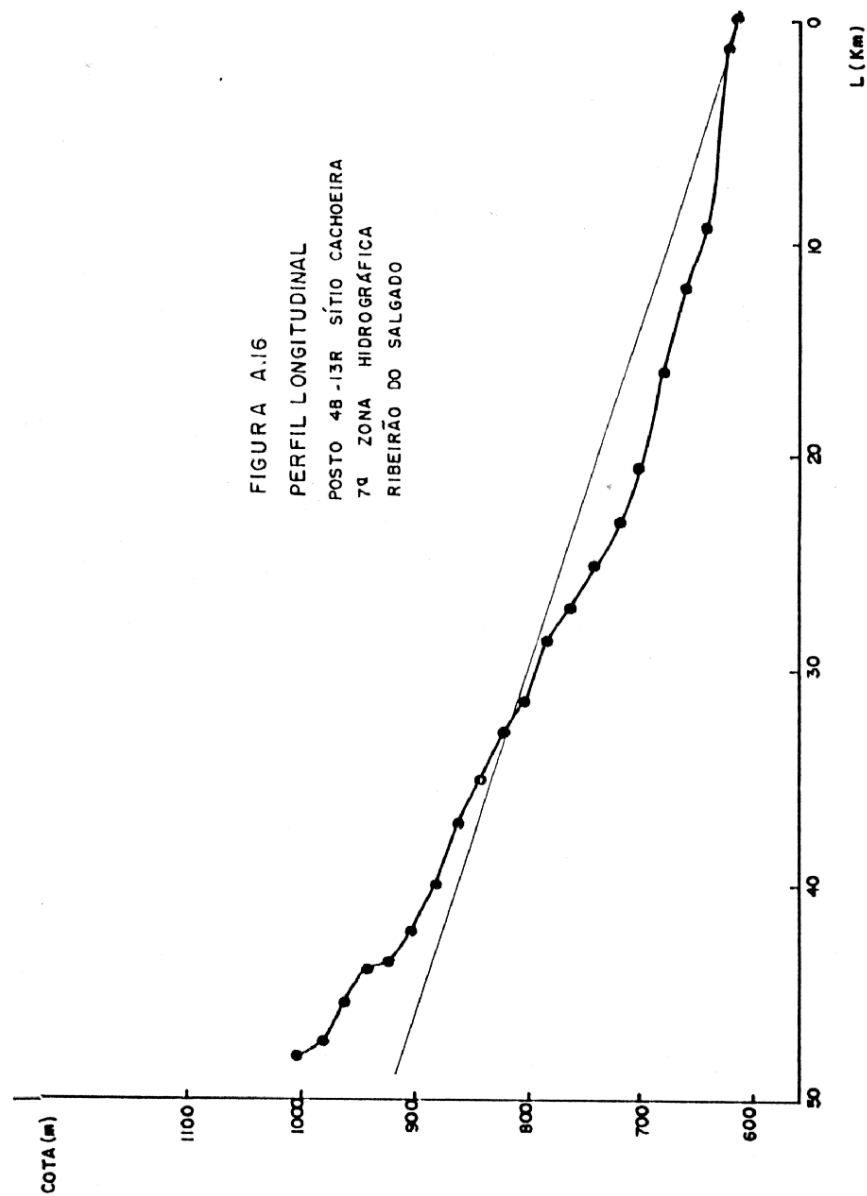
FIGURA A.15

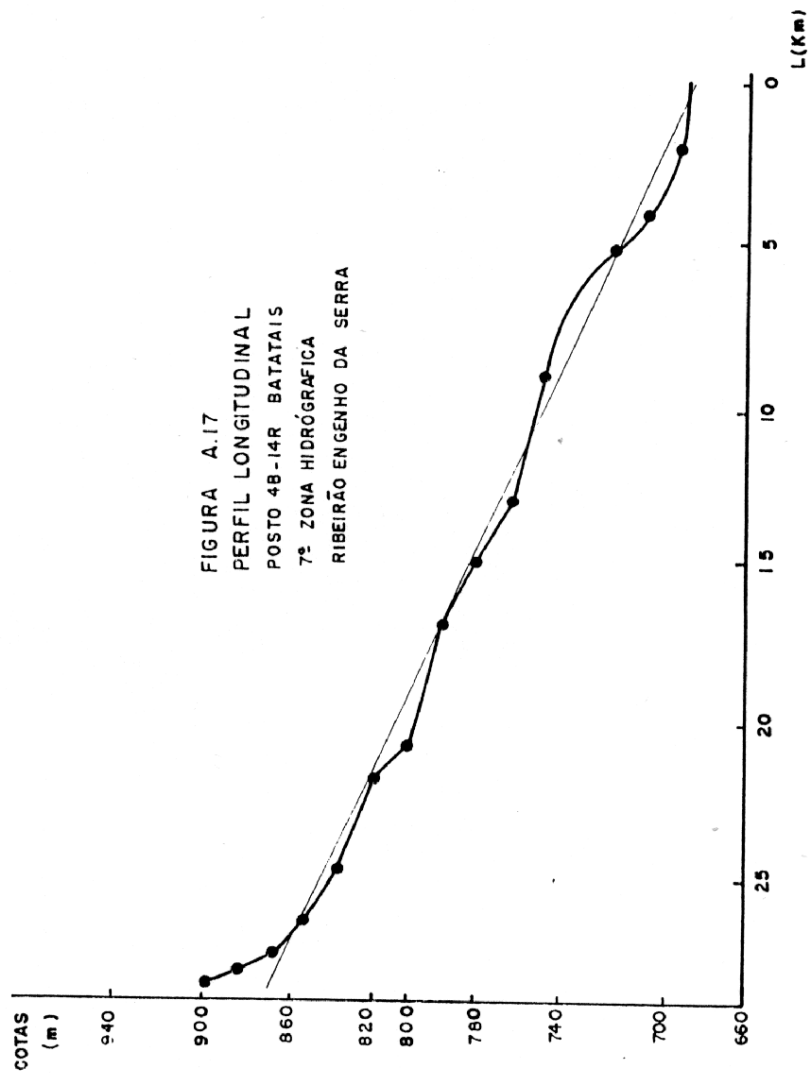
5000 0 5000 10000 m

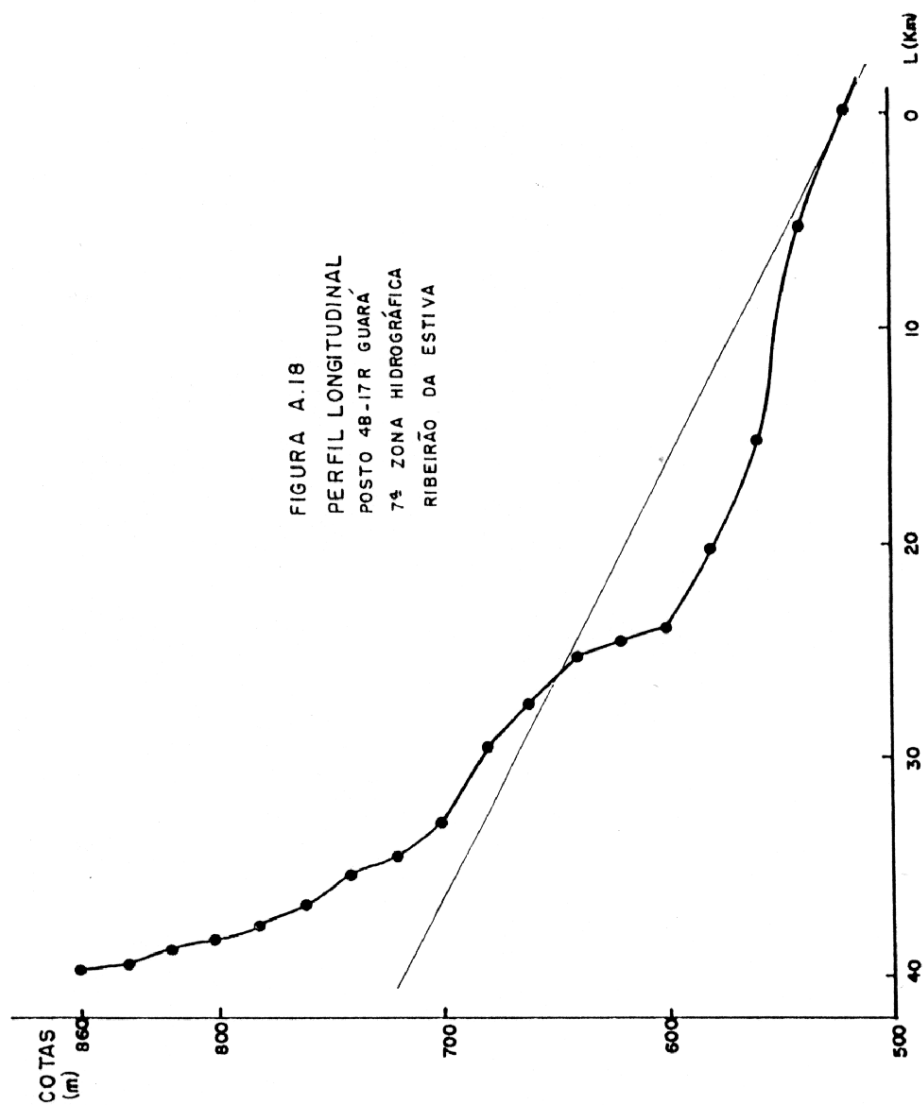
- LIMITE DA BACIA ESTUDADA
- ⊙ POSTO PLUVIOMÉTRICO
- ⊕ POSTO PLUVIOGRÁFICO
- ⚡ POSTO FLUVIOGRÁFICO
- POSTO 4F-38R QUILOMBO
- 5ª ZONA HIDROGRÁFICA
- RIO DO QUILOMBO
- MAPA DA BACIA

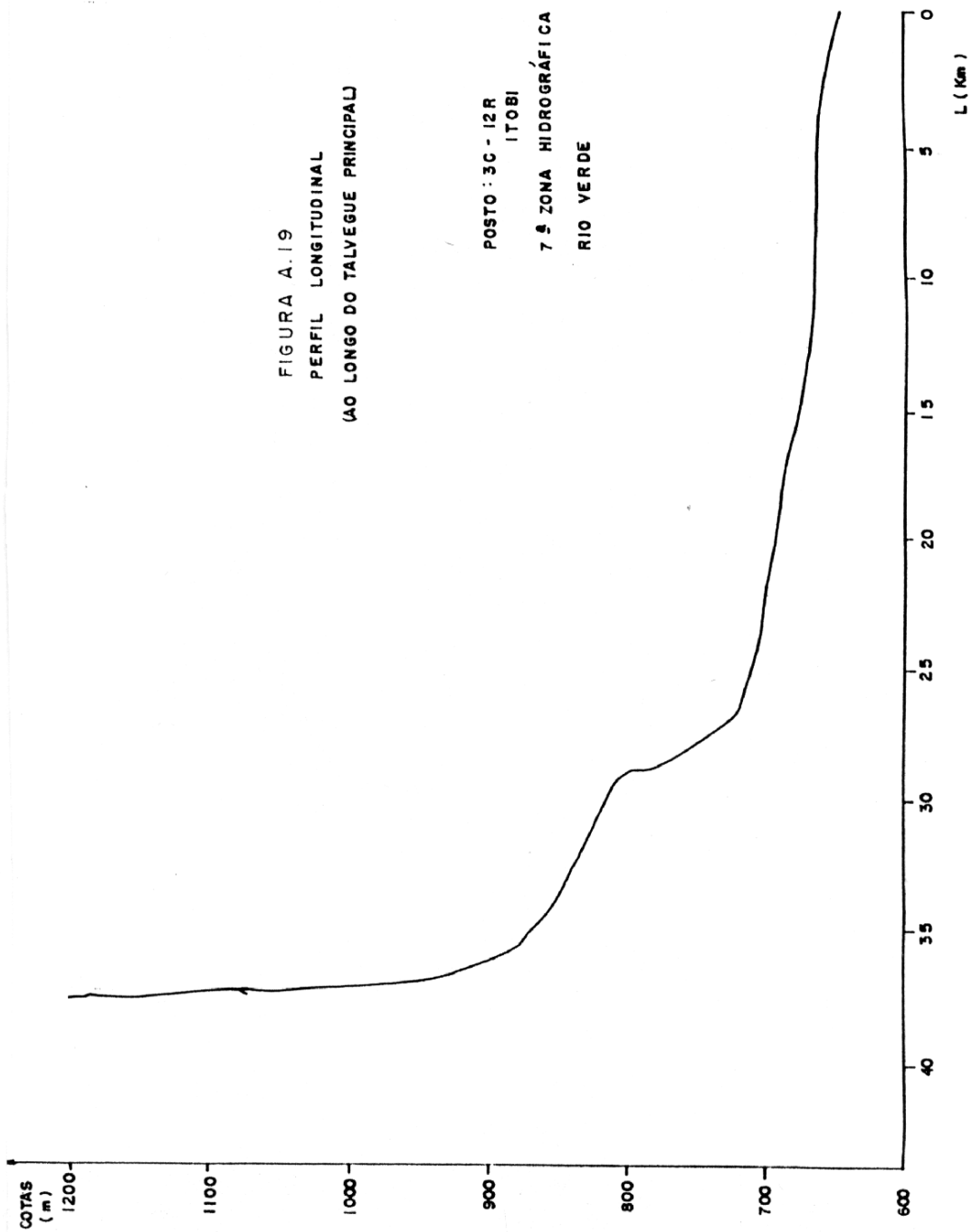
## **APÊNDICE - C**

### **PERFIS LONGITUDINAIS DOS TALVEGUES PRINCIPAIS DOS RIOS DAS 15 BACIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO EM OBSERVAÇÃO**

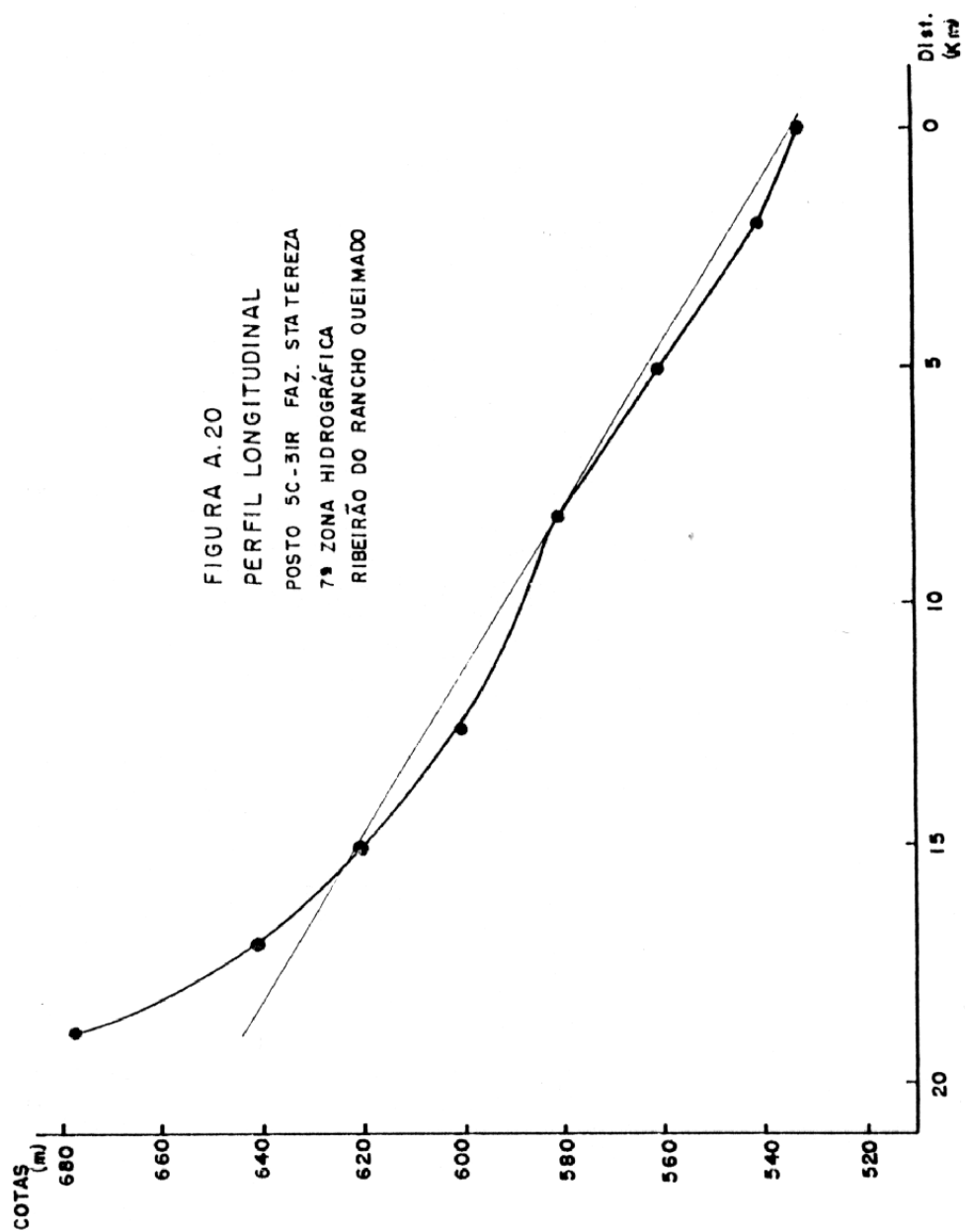


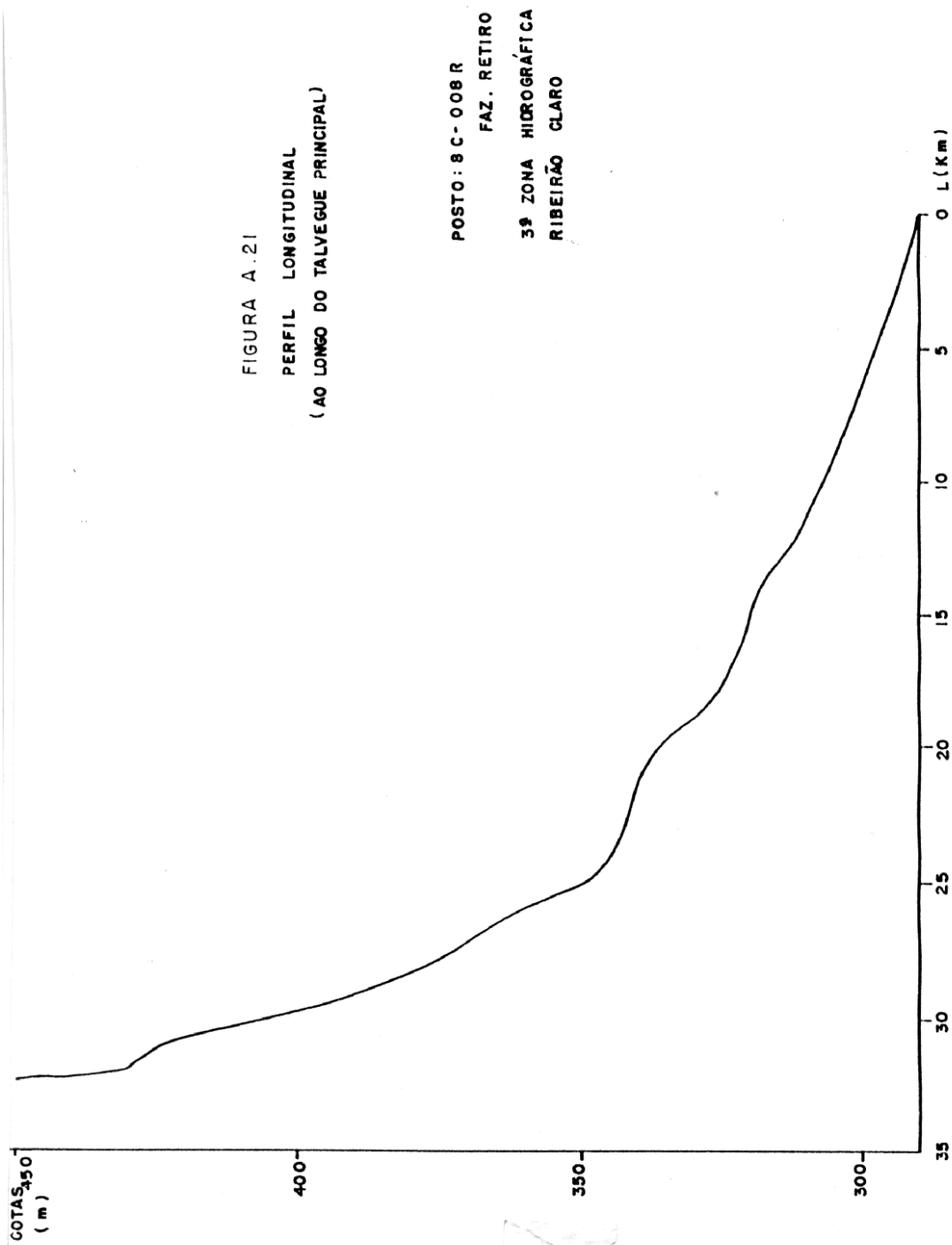












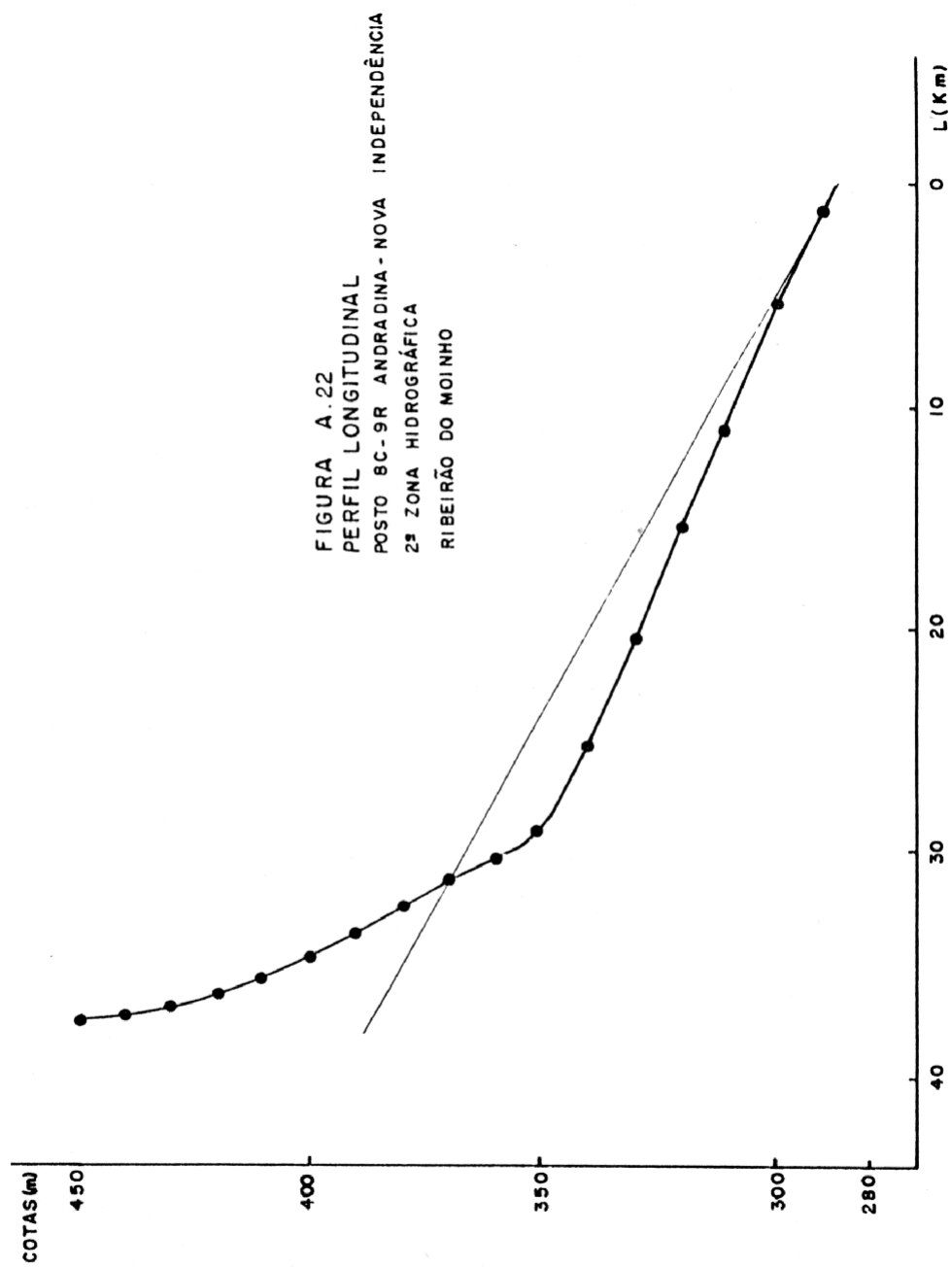


FIGURA A.23  
 PERFIL LONGITUDINAL  
 (AO LONGO DO TALVEGUE PRINCIPAL)

POSTO: 2D - 54 R  
 FAZ. KANEGAI  
 6ª ZONA HIDROGRÁFICA  
 RIO PIRACUAMA

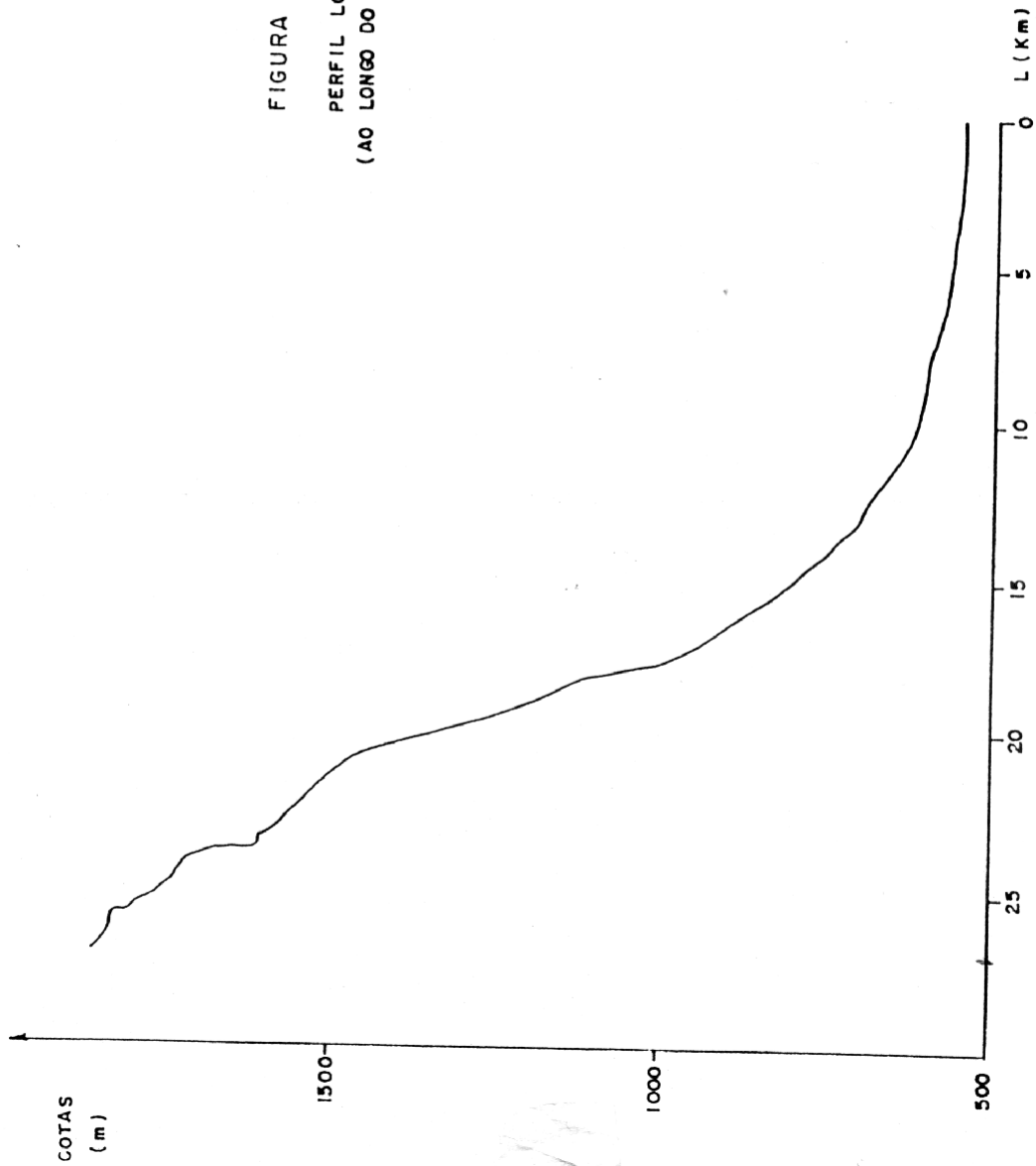
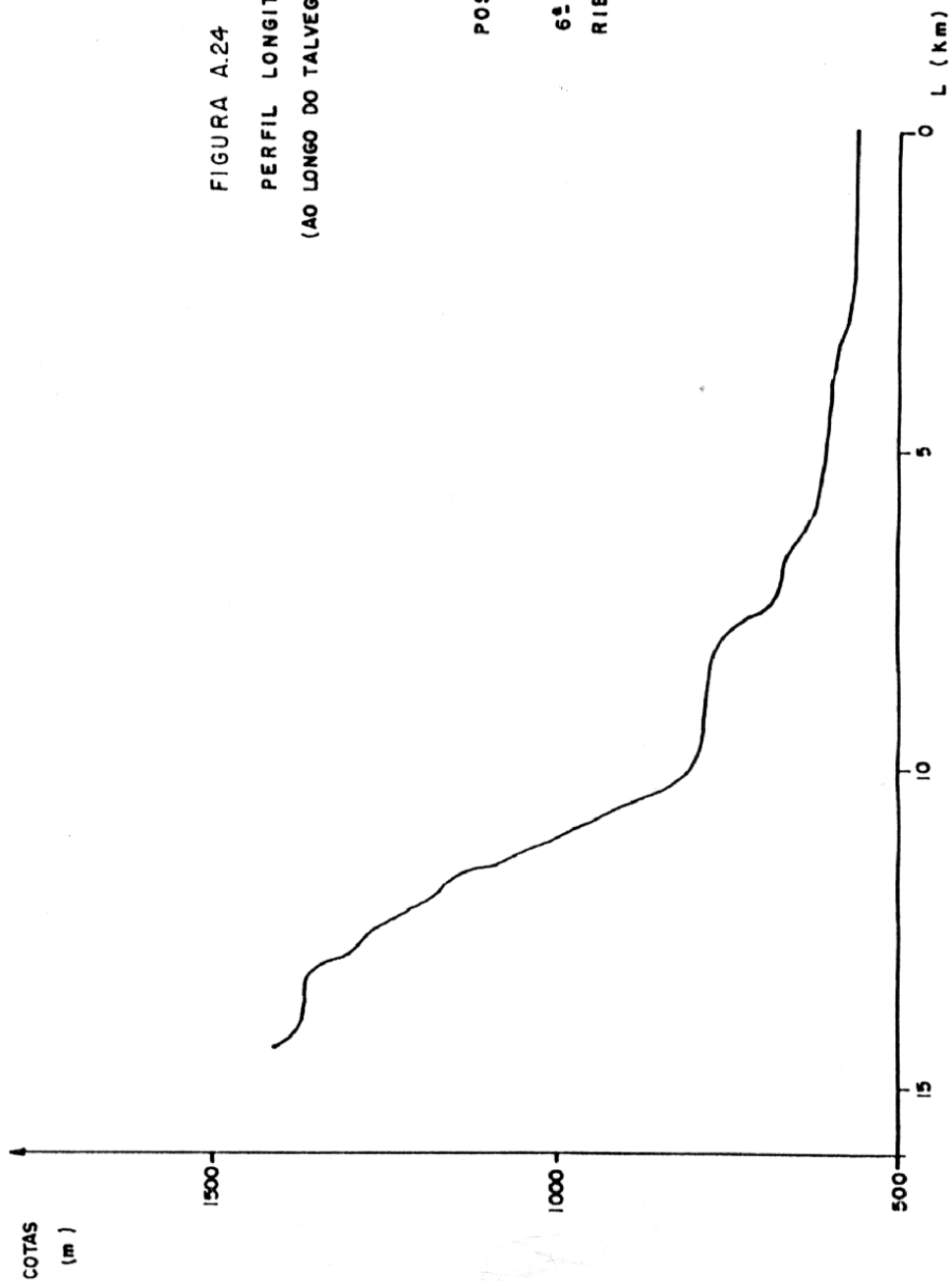
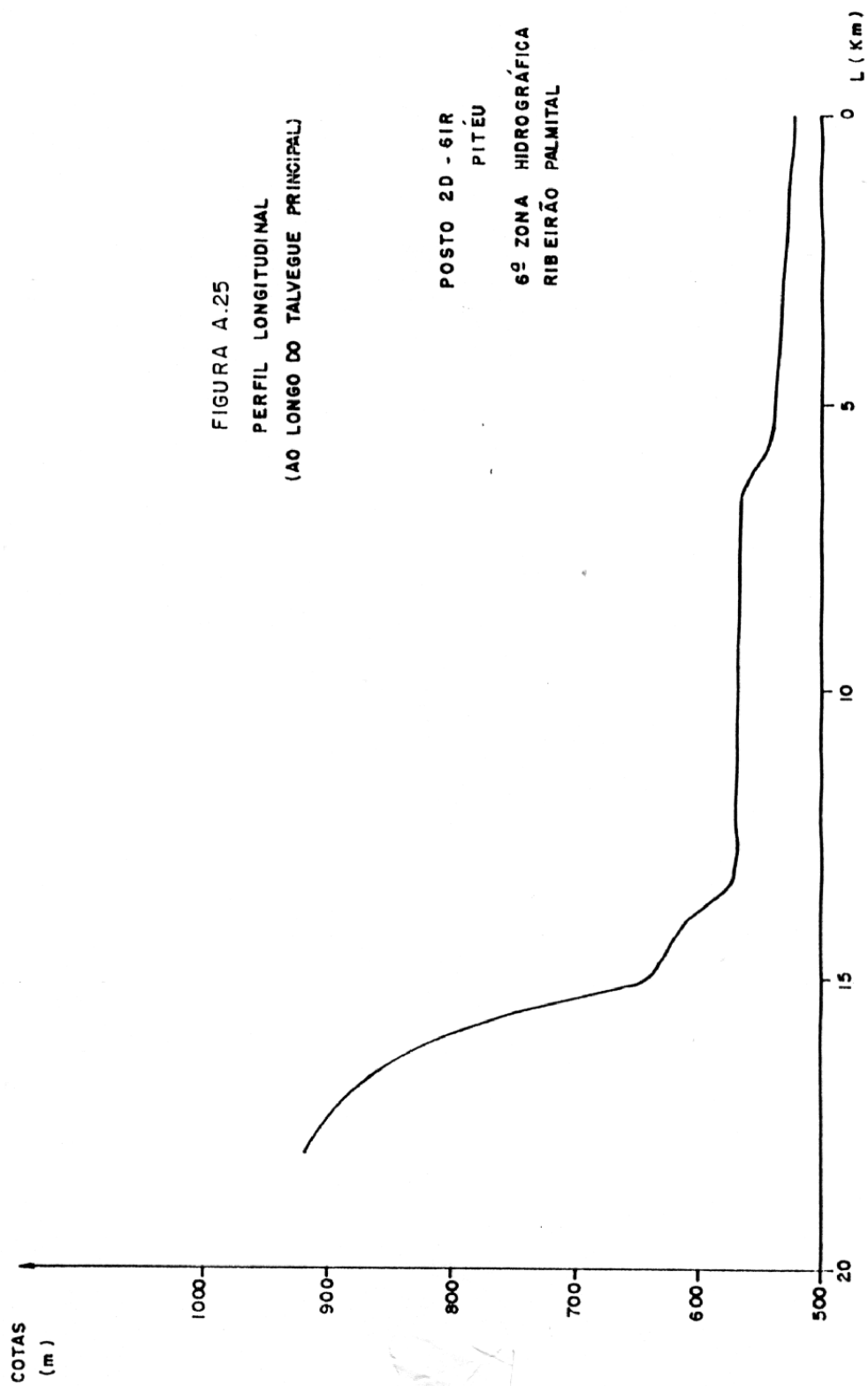


FIGURA A.24  
 PERFIL LONGITUDINAL  
 (AO LONGO DO TALVEGUE PRINCIPAL)

POSTO : 2D - 59 R  
 PIRAPITINGÜI  
 6ª ZONA HIDROGRÁFICA  
 RIBEIRÃO PIRAPITINGÜI





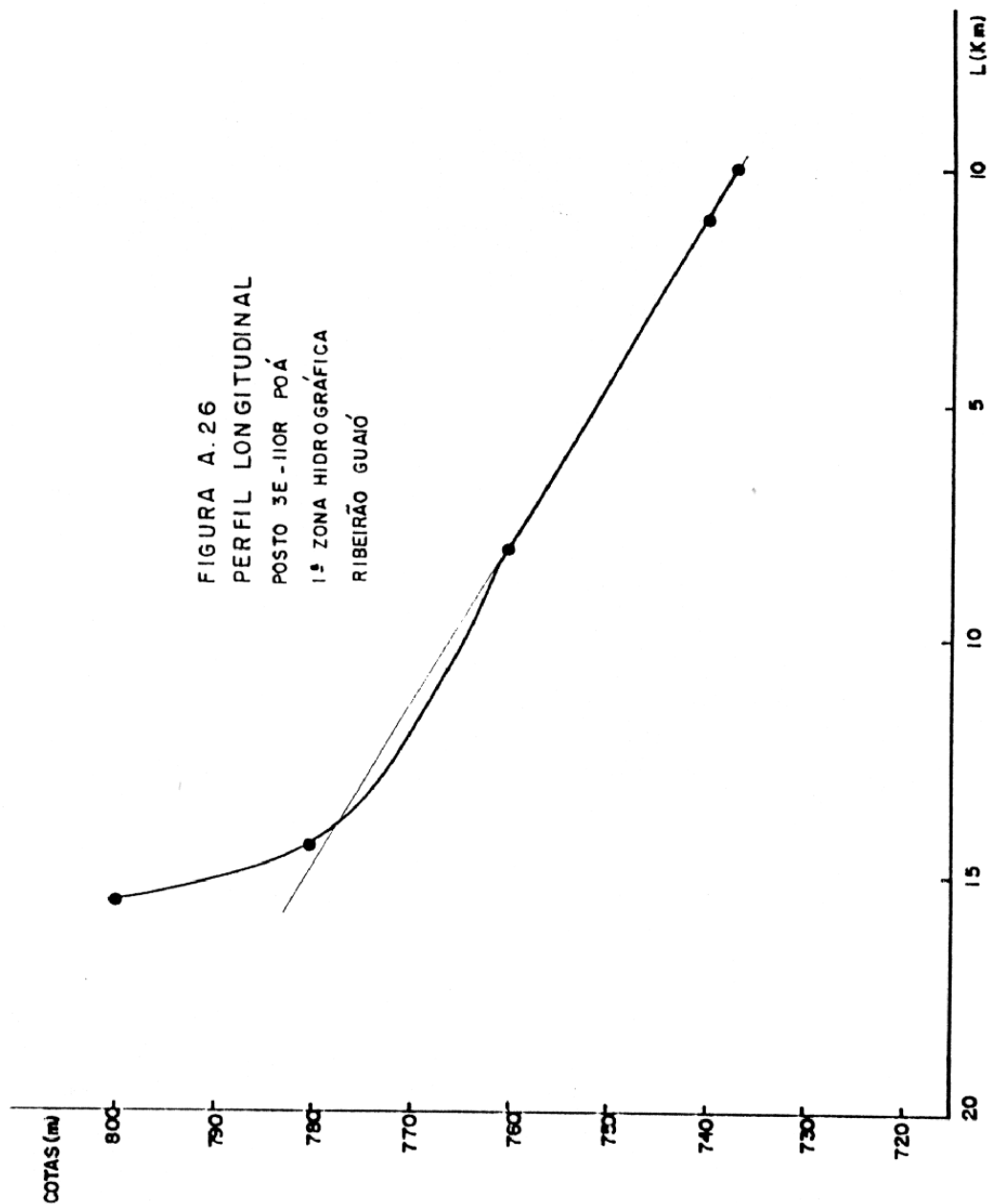
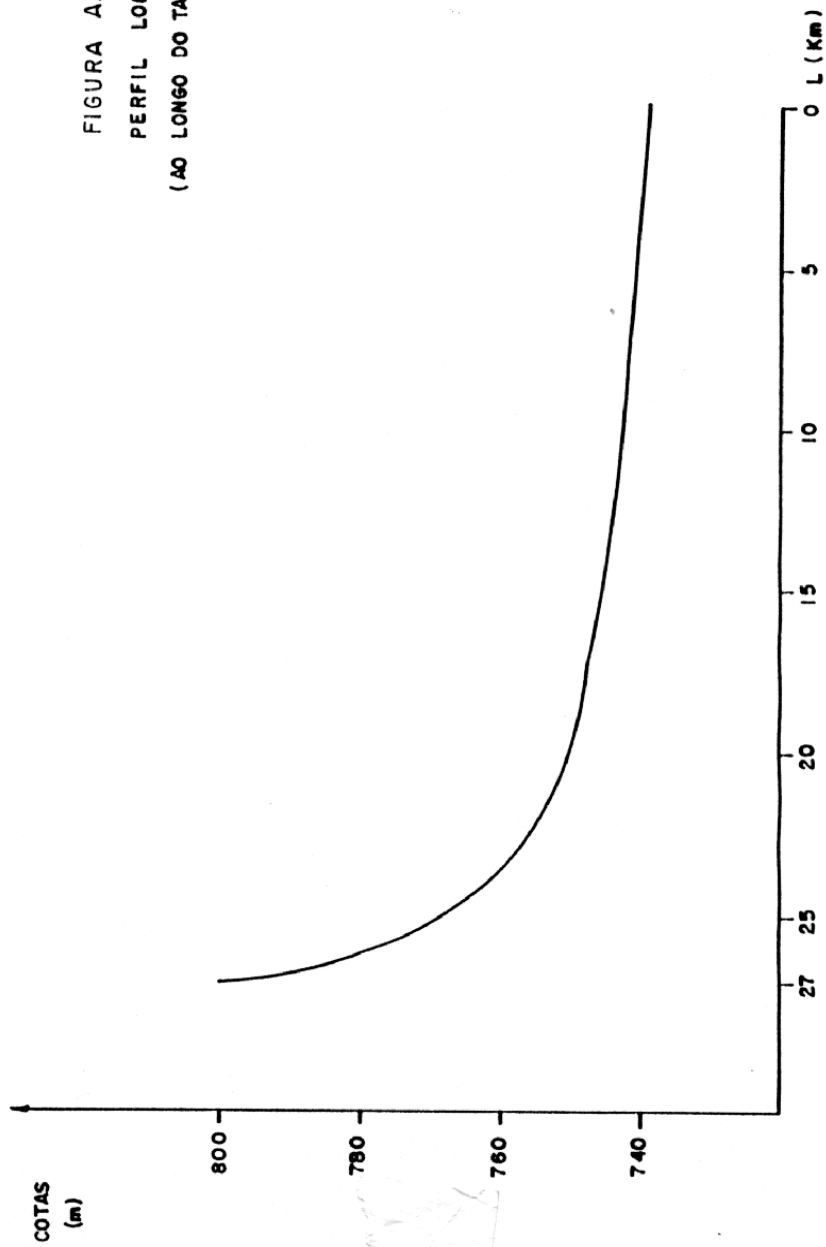


FIGURA A.27

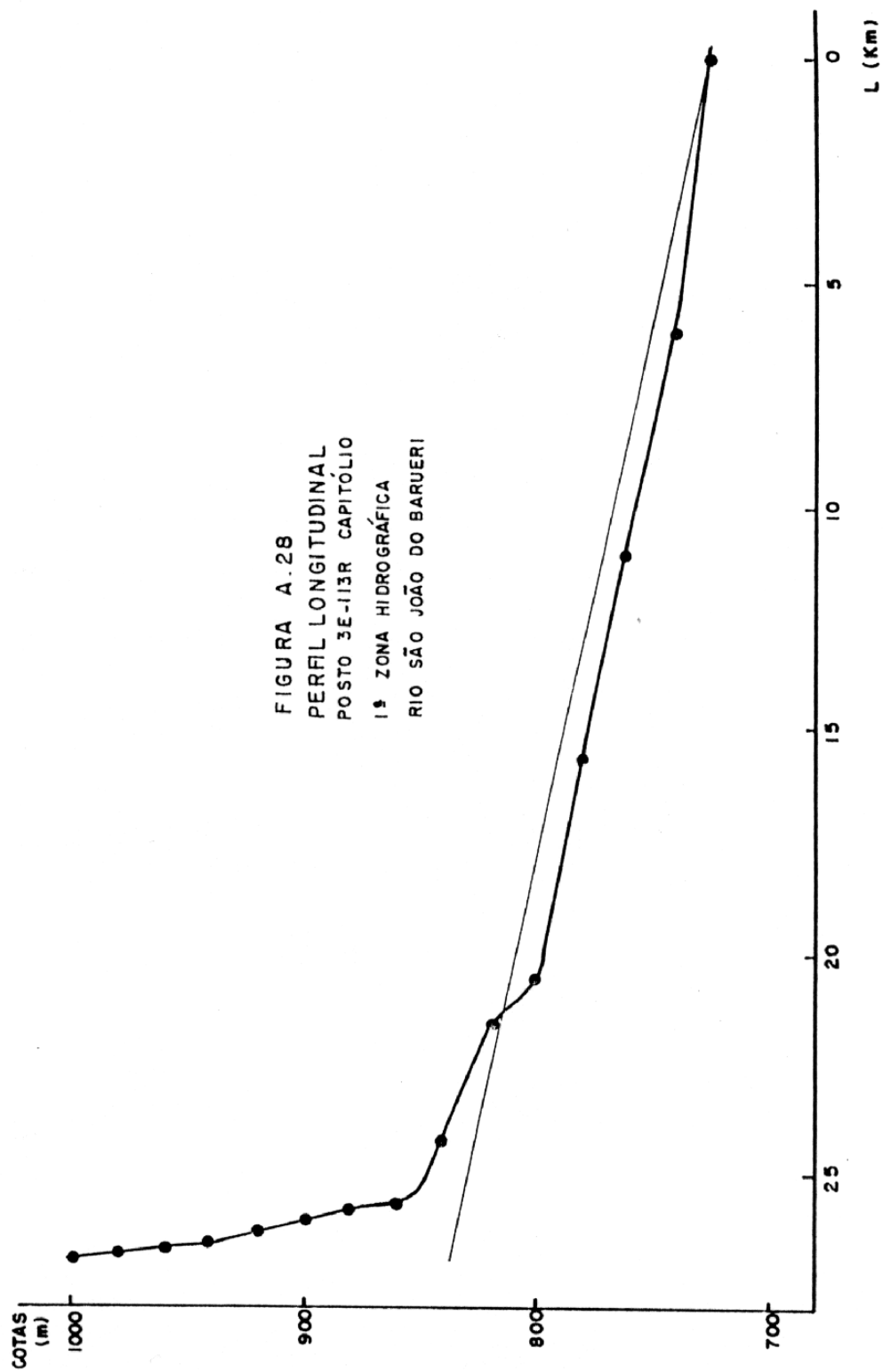
PERFIL LONGITUDINAL

(AO LONGO DO TALVEGUE PRINCIPAL)



POSTO : 3E-111R  
EMBU - GUACÚ  
1ª ZONA HIDROGRÁFICA  
RIO EMBU - GUACÚ





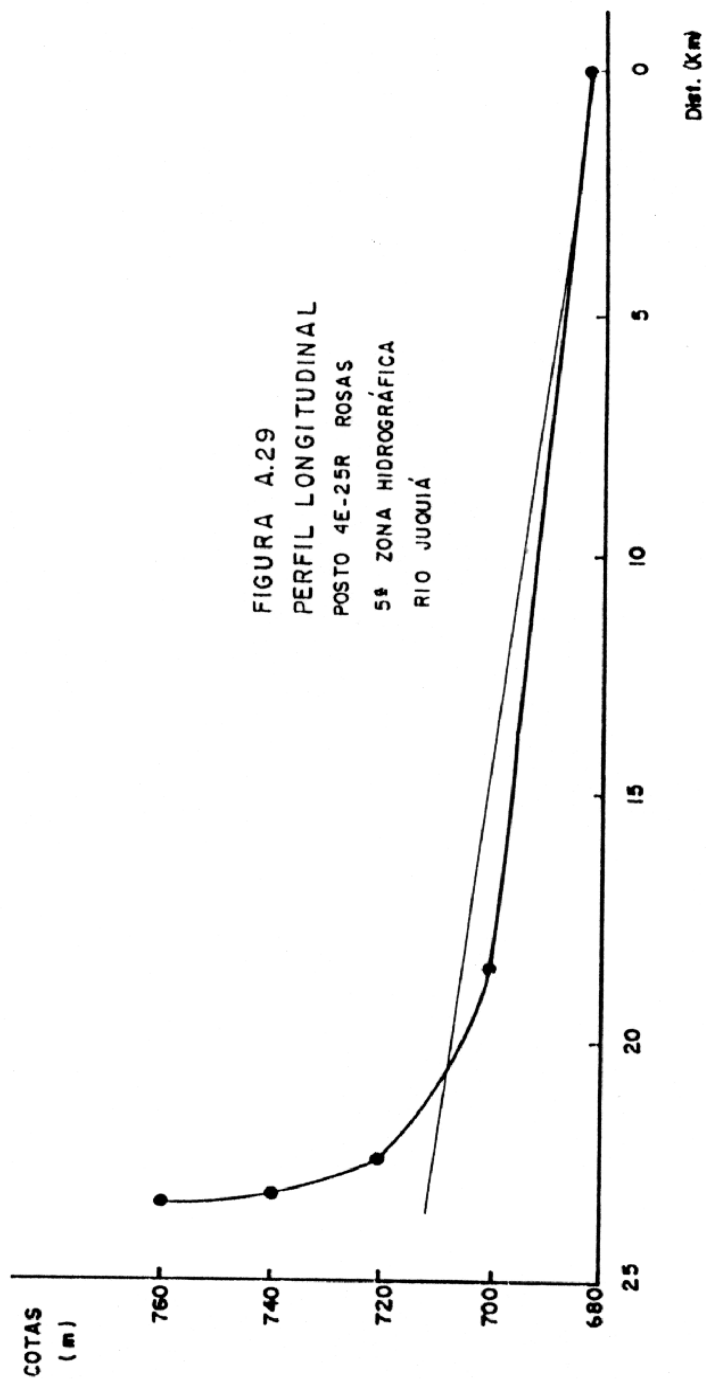


FIGURA A.30  
PERFIL LONGITUDINAL  
(AO LONGO DO TALVEGUE PRINCIPAL)

